Χ Α Ρ Ο Κ Ο Π Ε Ι Ο Π Α Ν Ε Π Ι Σ Τ Η Μ Ι Ο

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ- ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στην Εφαρμοσμένη Διαιτολογία-Διατροφή

Μεταπτυχιακή Διατριβή με Θέμα:

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΛΗΨΗΣ ΝΑΤΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΟΓΚΟ ΠΛΑΣΜΑΤΟΣ

Γκιοξάρη Αριστέα

Αθήνα 2006

Επιβλέπων καθηγητής: Σταύρος Κάβουρας

Τριμελής Επιτροπή
Σταύρος Κάβουρας
Λάμπρος Συντώσης
Γιώργος Νάσσης

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους εθελοντές αυτής της έρευνας για την ανιδιοτελή συμμετοχή τους, αλλά και για την υπομονή που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων. Ευχαριστώ τον κ. Κάβουρα Σταύρο, Λέκτορα του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, που μου ανέθεσε τη μελέτη αυτή και που μου εμπιστεύθηκε την υλοποίησή της. Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Αναστασίου Κώστα, Υποψήφιο Διδάκτορα για την πολύτιμη βοήθειά του στις εργαστηριακές αναλύσεις και τη στατιστική ανάλυση, καθώς και την κα. Τσιαφίτσα Αντιγόνη, Παρασκευάστρια, που πραγματοποίησε τον καθετηριασμό των εθελοντών και ήταν πρόθυμη να βοηθήσει όποτε το είχαμε ανάγκη. Τέλος, ευχαριστώ του αγαπητούς μου συνεργάτες, Κόλλια Μαρία και Αρναούτη Γιάννη, διότι χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η έρευνα αυτή, ενώ οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στου γονείς και τους φίλους που μου συμπαραστάθηκαν και με ενθάρρυναν στην προσπάθειά μου αυτή. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ) για την πολύτιμη οικονομική υποστήριξη και την εταιρεία Gatorade που χρηματοδότησε την παρούσα έρευνα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πολυάριθμες είναι οι μελέτες που έχουν δείξει ότι η αφυδάτωση κατά την άσκηση έχει αρνητικές συνέπειες στη διατήρηση της ισορροπίας των υγρών-ηλεκτρολυτών στο ανθρώπινο σώμα. Η αναπλήρωση του νατρίου που χάνεται κατά τη διάρκεια παρατεταμένης φυσικής δραστηριότητας φαίνεται πως είναι ιδιαίτερα σημαντική για την διατήρηση του όγκου πλάσματος. Ωστόσο, η βέλτιστη ποσότητα του στοιχείου αυτού στα αθλητικά ποτά είναι δύσκολο να προσδιοριστεί και εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο έρευνας. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων νατρίου στα υγρά που καταναλώθηκαν κατά τη διάρκεια παρατεταμένης φυσικής δραστηριότητας σε θερμό περιβάλλον, στην ισορροπία υγρών και ηλεκτρολυτών. Για το σκοπό αυτό 13 νέοι υγιείς, μη προπονημένοι άντρες (ηλικίας: 24.5±3.1 ys, ύψους: 177.8±7.6 cm και βάρους: 77.9±10.4 kg) πραγματοποίησαν ένα τρίωρο πρωτόκολλο άσκησης (30 min ποδήλατο, 30min περπάτημα) σε θερμό περιβάλλον (30˚C), ένα σετ κάμψεων πελματιαίων ποδοκνημίων επί ακροστασία (8x30 επαναλήψεις) και 45 min γρήγορης ανηφορικής βάδισης σε κλίση (5.5 km/h, 12%), ενώ κατανάλωναν ένα από τα ποτά του πειράματος: HNa (δ/μα υδατανθράκων & ηλεκτρολυτών συγκέντρωσης 38 mmol/l Na); LNa (δ/μα υδατανθράκων & ηλεκτρολυτών συγκέντρωσης 24 mmol/l Na); Wat (μεταλλικό νερό συγκέντρωσης < 0.3 mmol/l) και PL (placebo απιονισμένου νερού με προσθετικά χρώματος και γεύσης). Τα πειραματικά ποτά χορηγούνταν σε ποσότητες ίσες με τις απώλειες υγρών μέσω του ιδρώτα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ποτό HNa διατήρησε σταθερό τον όγκο πλάσματος ($P < 0.01$). Η ωσμωτικότητα και η συγκέντρωση νατρίου πλάσματος ήταν στατιστικά μεγαλύτερη για τα HNa και LNa σε σχέση με τα Plac και Wat ($P < 0.001$ και $P < 0.05$, αντίστοιχα), ενώ δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά του HNa με το LNa. Η καρδιακή συχνότητα και τα επίπεδα του γαλακτικού ήταν παρόμοια μεταξύ των διαφόρων δοκιμών. Κανένας από τους εθελοντές δεν εμφάνισε ζαλάδα ή μυϊκές κράμπες. Συμπερασματικά, τα δεδομένα της παρούσας έρευνας υποδεικνύουν ότι η πρόσληψη νατρίου κατά τη διάρκεια παρατεταμένης φυσικής δραστηριότητας σε θερμό περιβάλλον παίζει σημαντικό ρόλο στην ισορροπία υγρών-ηλεκτρολυτών, όταν η πρόσληψη υγρών είναι ίση με τις απώλειες που συμβαίνουν μέσω του ιδρώτα. Επιπλέον, η πρόσληψη νατρίου γύρω στα 24 mmol/l φαίνεται ότι αρκεί για αυτό το σκοπό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Γενικά 1-2

Οι ιδιότητες του νερού και των ηλεκτρολυτών και η σημασία τους για τον άνθρωπο 2-5

Τα διαμερίσματα των σωματικών υγρών 6-8

Ανταλλαγή υγρών ανάμεσα στα διαμερίσματα σωματικών υγρών 8-13

Ιονικό περιεχόμενο στα διαμερίσματα των σωματικών υγρών 14-18

Ισορροπία υγρών-ηλεκτρολυτών σε θερμικό στρες 18-30

Αιμοδιάλυση και Αιμοσυγκέντρωση 31-36

Αγγειακή ενδοτικότητα και θερμικό στρες 36-37

Θερμικό στρες και πρωτεΐνες 38-39

Παράγοντες που επηρεάζουν την επανυδάτωση μετά από άσκηση στη ζέστη 39-40

Έλεγχος ισορροπίας σωματικών υγρών κατά την αφυδάτωση 40-41

Λειτουργία νεφρών 41-42

Ορμονικός έλεγχος της νεφρικής λειτουργίας

Αντιδιουρητική ορμόνη (βασοπρεσσίνη ή AVP) 43-44

Σύστημα ρενίνης – αγγειοτενσίνης – αλδοστερόνης 44-46

Κεντρική φλεβική πίεση και θερμικό στρες 47-50

Αναπλήρωση υγρών κατά τη θερμική αφυδάτωση 50-62

Σκοπός 63

Μεθοδολογία 64-69

Αποτελέσματα 70-85

Συζήτηση 86-90

Βιβλιογραφία 91-102

Εισαγωγή

Γενικά

Όταν ένα άτομο αρχίζει να ασκείται, η αύξηση στη μεταβολική δραστηριότητα των σκελετικών μυών, πυροδοτεί την έναρξη μιας σειράς γεγονότων στο ανθρώπινο σώμα που έχουν ως σκοπό τη διατήρηση της ομοιόστασης. Προκειμένου να διατεθεί ικανοποιητική ποσότητα οξυγόνου στα ασκούμενα μυϊκά κύτταρα, η καρδιακή παροχή αυξάνει, ενώ η αύξηση της αιματικής ροής προς τους μύες συνοδεύεται από διαστολή των αιμοφόρων αγγείων (Brooks et al., 2005). Κατά τη διάρκεια της αγγειοδιαστολής πραγματοποιούνται κατά μήκος των τριχοειδικών αγγείων ανταλλαγές υγρών, ενώ παράλληλα παρατηρείται μετακίνηση ουσιών με ωσμωτικές ιδιότητες που αλλάζουν τελείως τη δυναμική του σωματικού νερού σε σχέση με την κατάσταση ανάπαυσης. Σε αυτή τη φάση, νερό, ιόντα, ορμόνες και άλλες ουσίες εισέρχονται και εξέρχονται συνεχώς από τον αγγειακό και διακυττάριο χώρο (Senay, 1998). Καθώς η άσκηση συνεχίζεται, η θερμοκρασία πυρήνα αυξάνει, γεγονός που διεγείρει τους μηχανισμούς αποβολής θερμότητας από το σώμα. Η αγγειοδιαστολή των αγγείων του δέρματος επιτρέπει την αποβολή της θερμότητας στο περιβάλλον. Όταν η αποβολή θερμότητας με τη μορφή ακτινοβολίας και περιαγωγής είναι αδύνατη, τότε παράγεται ιδρώτας και η περίσσεια θερμότητας αποβάλλεται από την επιφάνεια του σώματος μέσω εξάτμισης (Williams, 2003). Είναι πλέον επιβεβαιωμένο ότι μεγάλη απώλεια σωματικών υγρών επιφέρει αφυδάτωση, κατάσταση που έχει αρνητικές επιπτώσεις στη ρύθμιση του συνολικού όγκου υγρών. Η διατήρηση της ισορροπίας υγρών-ηλεκτρολυτών στο σώμα είναι ζωτικής σημασίας. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοπληξία η οποία προκαλείται

συνήθως από αφυδάτωση σε συνθήκες ζέστης, καθώς και η υπονατριαιμία εξαιτίας της υπερκατανάλωσης νερού κατά την αφυδάτωση, μπορούν να έχουν τραγικές συνέπειες για τον οργανισμό, έως ακόμα και θάνατο (Serge et al., 2004, Williams, 203). Για το λόγο αυτό, η αναπλήρωση υγρών κατά τη διάρκεια, καθώς και μετά το τέλος της άσκησης κρίνεται απαραίτητη (Brooks et al., 2005; Serge et al., 2004). Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες έχουν επικεντρωθεί στην εύρεση εκείνου του αθλητικού ποτού, το οποίο θα είναι επαρκές σε υγρά και θρεπτικά συστατικά, ενώ παράλληλα θα βελτιώνει την αθλητική απόδοση (Maughan, 1991; Noakes, 1993). Το Αμερικάνικο Κολέγιο Αθλιατρικής (American College of Sports Medicine, ACSM) έχει συλλέξει τα αποτελέσματα όλων αυτών των ερευνών και βασιζόμενο σε αυτά, έχει δημιουργήσει γενικές συστάσεις για υγρά, ηλεκτρολύτες, υδατάνθρακες και άλλα θρεπτικά συστατικά, τις οποίες θα πρέπει να ακολουθούν οι αθλητές κατά τη διάρκεια της άσκησης (2000, 1996, 1984, 1975).

Οι ιδιότητες του νερού και ηλεκτρολυτών και η σημασία τους για τον άνθρωπο

Ο ρόλος του νερού και της ιονικής του σύστασης έχει απασχολήσει τους ερευνητές ήδη από το 1859 (Bernard, 1957). Είναι γνωστό ότι σε έναν υγιή ενήλικα, το νερό αποτελεί το 45-70% της συνολικής σωματικής του μάζας (Edelman and Leibman, 1959), ενώ πρωτεύοντας ρόλος του στον οργανισμό είναι ως διαλυτικό μέσο για τα διάφορα θρεπτικά συστατικά, οργανικά ή ανόργανα, προκειμένου να εξασφαλίζεται η μεταφορά τους από τον έναν ιστό στον άλλον. Πέρα, όμως, από το ρόλο του ως διαλύτη, το σωματικό νερό έχει και κάποιες άλλες ιδιότητες, κυρίως χημικές, τις οποίες ο οργανισμός χρησιμοποιεί προς όφελός του. Η πιο σημαντική από αυτές είναι η μεγάλη

ειδική θερμότητα (Senay, 1998). Η ειδική θερμότητα είναι το ποσό της θερμότητας ανά μονάδα μάζας, το οποίο απαιτείται για να ανυψωθεί η θερμοκρασία της μάζας κατά ένα βαθμό Κελσίου ή Κέλβιν. Η σχέση μεταξύ της θερμότητας και της μεταβολής της θερμοκρασίας, εκφράζεται συνήθως με την παρακάτω μορφή, όπου Q είναι η ποσότητα θερμότητας που προσφέρεται ή αφαιρείται από ένα σώμα μάζας m, το c είναι η ειδική θερμότητα του σώματος, και το ΔΤ είναι η μεταβολή στη θερμοκρασία του.

$$Q = mc\Delta T$$

Όταν η θερμοκρασία ενός κιλού νερού αυξάνεται κατά 1 ^{o}C, από 15° σε 16°, η ειδική θερμότητα του νερού ισούται με «1». Η απαραίτητη θερμότητα για να πραγματοποιηθεί αυτή η αύξηση είναι ίση με 1000 θερμίδες (calories) ή 1 χιλιοθερμίδα (1 kcal) ή 4186 joules. Ένας μέσος ενήλικας άντρας βάρους γύρω στα 70 κιλά, περιέχει περίπου 42 κιλά νερό. Επειδή στο σώμα μας υπάρχουν και άλλοι ιστοί όπως οι μυς, η λιπώδης μάζα κ.τ.λ., η ειδική θερμότητα του νερού στον άνθρωπο είναι 0.839 (Judy, 1984). Επομένως, για να αυξηθεί η θερμοκρασία σώματος του παραπάνω άντρα κατά 1 ^{o}C, απαιτείται αύξηση θερμότητας κατά 58 kcal (242.8 Kjoules). Αντίθετα, για να αυξηθεί η θερμοκρασία του υγρού υδραργύρου κατά 1 ^{o}C, απαιτούνται μόλις 2.3 kcal (9.63 Kjoules). Η σημασία αυτής της ιδιότητας του νερού στον άνθρωπο έγκειται στην θερμορύθμιση του σώματος (Senay, 1998). Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει την μεταφορά της θερμότητας στο σώμα, από τις περιοχές παραγωγής της προς τις περιοχές απομάκρυνσής της.

Το νερό έχει επίσης, και μεγάλη θερμότητα εξάτμισης (Senay, 1998). Ως θερμότητα εξάτμισης ορίζεται το ποσό θερμότητας που απαιτείται προκειμένου να μετατραπεί μια μονάδα μάζας ενός υγρού, στο σημείο βρασμού, σε υδρατμούς, χωρίς την

αύξηση της θερμοκρασίας. Για να θερμανθεί 1 κιλό νερού από τους 20 στους 100 ^{o}C, απαιτούνται 80 kcal (334 Kjoules), αλλά για να βράσει, χρειάζονται επιπλέον 540 kcal (2.26 Mjoules). Και αυτή η ιδιότητα του νερού παίζει σπουδαίο ρόλο στη θερμορύθμιση του ανθρώπινου σώματος και πιο συγκεκριμένα, στην εξάτμιση του νερού ως ιδρώτα (Senay, 1998). Για κάθε γραμμάριο εξατμιζόμενου ιδρώτα από το δέρμα, το σώμα χάνει 0.58 kcal (2.43 Kjoules).

Όλες οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο άνθρωπο εξαρτώνται από το νερό. Χωρίς κατάλληλο επίπεδο υδάτωσης, οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις στα κύτταρα δεν εκτελούνται σωστά ή δεν πραγματοποιούνται καθόλου. Εκτός, όμως, από το ρόλο του νερού στο μεταβολισμό, το ιονικό περιβάλλον του οργανισμού μας οφείλεται στην ικανότητα του νερού να διαλύει, και έτσι να μεταφέρει σε όλους τους ιστούς διάφορους ηλεκτρολύτες. Ηλεκτρολύτη ονομάζουμε μια ουσία η οποία όταν βρίσκεται μέσα σε ένα διάλυμα μπορεί να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα. Το διάλυμα αυτό ονομάζεται ηλεκτρολυτικό διάλυμα (Vander et al., 2001). Τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα είναι ηλεκτρολύτες και συνήθως διασπώνται σε ιόντα, τα οποία φέρουν είτε αρνητικό (ανιόντα), είτε θετικό (κατιόντα) ηλεκτρικό φορτίο. Οι σπουδαιότεροι ηλεκτρολύτες στα σωματικά υγρά είναι το νάτριο, το κάλιο, το χλώριο, το διττανθρακικό ιόν, το θειικό ιόν, το μαγνήσιο και το ασβέστιο. Η λειτουργία των κυττάρων στον ανθρώπινο οργανισμό απαιτεί ένα κατάλληλο ιονικό περιβάλλον, τόσο στο εσωτερικό τους, όσο και στο χώρο γύρω από αυτά (Senay, 1998). Για παράδειγμα, η λειτουργία των νεύρων, του μυϊκού συστήματος, αλλά και του καρδιακού μυός εξαρτώνται από τα ιονικά συστατικά που υπάρχουν κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης (Guyton, 1991). Πιο συγκεκριμένα, οι ηλεκτρολύτες δρουν στην κυτταρική μεμβράνη και δημιουργούν

ηλεκτρικό ρεύμα. Μπορούν επίσης, να λειτουργήσουν και με άλλους τρόπους, όπως να ενεργοποιούν ένζυμα για τη ρύθμιση διάφορων μεταβολικών μονοπατιών στα κύτταρα. Συμπερασματικά, η ικανότητα μας να ζούμε εξαρτάται εν μέρει από την παρουσία των ηλεκτρολυτών στο σώμα.

Οι βασικότερες λειτουργίες του νερού στον ανθρώπινο οργανισμό είναι οι εξής:

- Είναι βασικό συστατικό του αίματος, γεγονός που σημαίνει ότι παίρνει μέρος:

α) στη μεταφορά οξυγόνου, θρεπτικών συστατικών, ορμονών και άλλων ουσιών στα κύτταρα προκειμένου να εκτελέσουν τις απαραίτητες λειτουργίες τους και

β) στη μεταφορά των άχρηστων προϊόντων του μεταβολισμού από τα κύτταρα προς όργανα, όπως είναι οι πνεύμονες και οι νεφροί, για να αποβληθούν από το σώμα.

- Αποτελεί βασικό δομικό συστατικό του κυτταροπλάσματος, στο οποίο κύριος ρόλος του νερού είναι η διεκπεραίωση του μεταβολισμού.
- Ελέγχει την ωσμωτική πίεση του σώματος και τη διατήρηση του ιονικού περιβάλλοντος. Οποιαδήποτε διατάραξη στην ισορροπία υγρών-ηλεκτρολυτών, μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τις κυτταρικές λειτουργίες.
- Αποτελεί βασικό συστατικό του ιδρώτα, που σημαίνει ότι βοηθά στην αποβολή της περίσσειας θερμότητας από το σώμα και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας πυρήνα.
- Εξαιτίας της ιδιότητάς του να παραμένει ασυμπίεστο, ένας ρόλος του στον οργανισμό είναι να προστατεύει διάφορους ιστούς ζωτικής σημασίας όπως είναι ο νωτιαίος μυελός, ενώ φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο και στη λειτουργία των αισθήσεων.

(Williams, 2003)

Τα διαμερίσματα των σωματικών υγρών

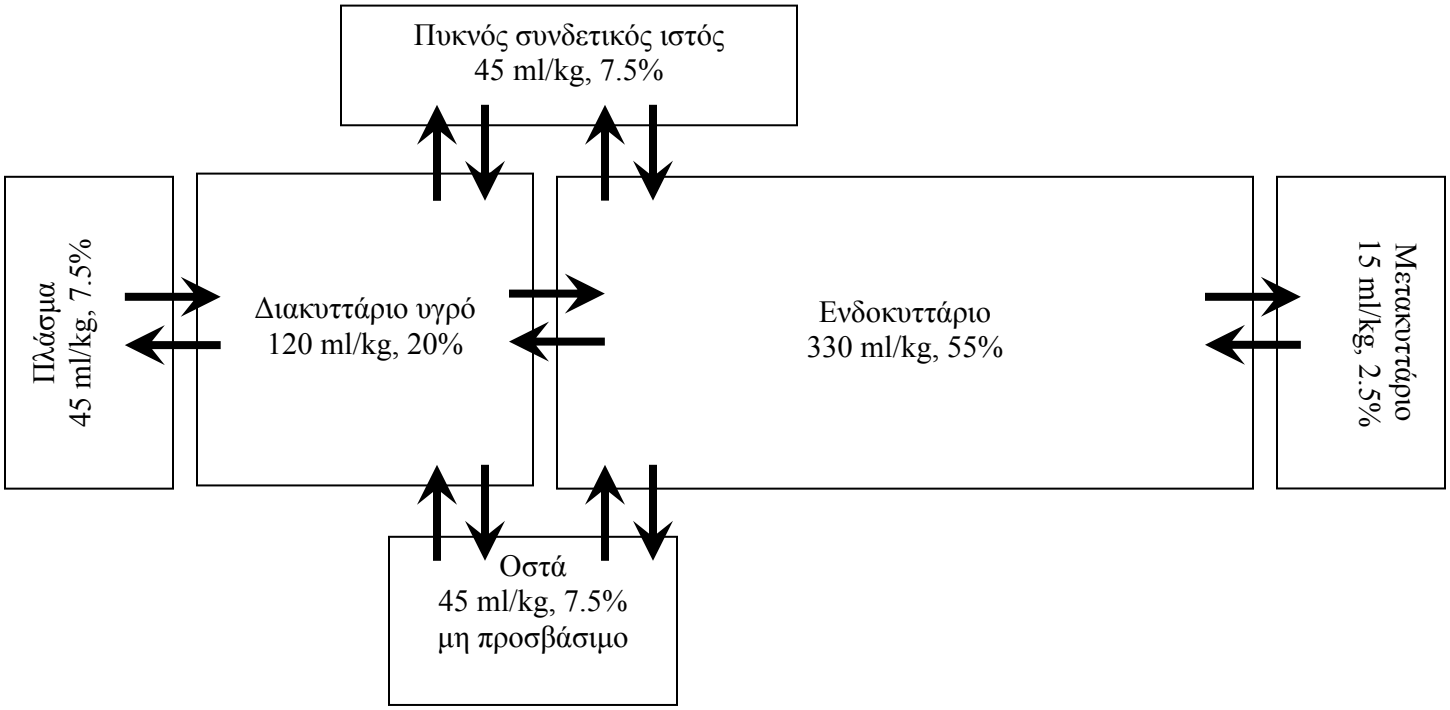
Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το 45-70% του βάρους ενός μέσου ενήλικα είναι νερό. Το ποσοστό αυτό φαίνεται να διαφέρει για τα δύο φύλα. Έχει βρεθεί ότι άντρες και γυναίκες ηλικίας 16-30 ετών αποτελούνται κατά μέσο όρο από 60 και 50% νερό, αντίστοιχα (Bland, 1963; Edelman and Leibman, 1959). Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό σωματικού νερού κυμαίνεται από 49.6-68% για το 95% των αντρών και 44.1-57.6% για το 95% των γυναικών. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο μεγαλύτερο ποσοστό σωματικού λίπους που διαθέτουν οι γυναίκες, μιας και η λιπώδης μάζα κατακρατά πολύ μικρή ποσότητα νερού (γύρω στο 10%) (Pitts, 1974). Επομένως, ένας άντρας 70 κιλών και μια γυναίκα 55 κιλών θα έχουν συνολικό σωματικό νερό 42 και 27.5 kg, αντίστοιχα.

Το συνολικό σωματικό νερό (TBW) κατανέμεται σε δύο κύρια διαμερίσματα: στο ενδοκυττάριο υγρό (ICF), δηλαδή το νερό που είναι αποθηκευμένο μέσα στο εσωτερικό των κυττάρων και στο εξωκυττάριο υγρό (ECF). Το τελευταίο υποδιαιρείται σε δύο μικρότερα διαμερίσματα: α) στο διακυττάριο ή μεσοκυττάριο νερό (ISF) που βρίσκεται μεταξύ των κυττάρων ή τα περιβάλλει και β) στο ενδαγγειακό νερό μέσα στα αιμοφόρα αγγεία (Edelman and Leibman, 1959). Στο συνολικό σωματικό νερό συμπεριλαμβάνεται και αυτό που υπάρχει στα λοιπά διαμερίσματα του σώματος, κυρίως στα οστά, το πυκνό συνδετικό ιστό, το γαστρεντερικό σωλήνα και το εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Ο όγκος του εξωκυττάριου υγρού μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες οργανικές ή ανόργανες ουσίες. Για παράδειγμα, η ινουλίνη με μοριακό βάρος 5000 έχει δείξει ότι το εξωκυττάριο υγρό διακυμαίνεται από 12-14 λίτρα (Senay, 1998). Στον μέσο ενήλικα άντρα βάρους 70 κιλών, το συνολικό σωματικό νερό κατανέμεται στα εξής: 55% ως εσωκυττάριο νερό, 30% ως εξωκυττάριο (από το οποίο το 7.5% βρίσκεται στον πλάσμα,

20% στο διακυττάριο υγρό και 2.5% στο μετακυττάριο χώρο) και 15% στα λοιπά διαμερίσματα του σώματος. [σχήμα 1, (Edelman and Leibman, 1959)]. Οι ίδιοι ερευνητές θεώρησαν ότι ένα μικρό μέρος του διακυττάριου διαμερίσματος διαφέρει λίγο από το υπόλοιπο, διότι έχει παραχθεί από εκκριτικά κύτταρα. Αυτό το χώρο το ονόμασαν μετακυττάριο.

Οποιαδήποτε αλλαγή στη ποσότητα νερού σε κάποιο από τα παραπάνω διαμερίσματα, έχει ως αποτέλεσμα την ανακατανομή, τόσο των σωματικών υγρών, όσο και των διαλυμένων σε αυτά ουσιών σε όλα τα διαμερίσματα (Williams, 2003; Mack and Nadel, 1996). Για το λόγο αυτό, ο ανθρώπινος οργανισμός έχει αναπτύξει διάφορους και πολύπλοκους μηχανισμούς προκειμένου να ρυθμίζει τον όγκο των σωματικών υγρών, αλλά και τη σύστασή τους (Cannon, 1939). Οι νεφροί οι οποίοι καθορίζουν τον ρυθμό αποβολής νερού και ηλεκτρολυτών από το σώμα, παίζουν πρωταρχικό ρόλο και δρώντας συνεργιστικά με άλλους μη νεφρικούς παράγοντες οι οποίοι ρυθμίζουν την πρόσληψη νερού (και άλατος), καθώς και την απέκκριση νερού από τους νεφρούς, εξασφαλίζουν την διατήρηση του όγκου και της σύστασης του συνολικού σωματικού νερού. Μεγάλη απώλεια νερού μπορεί να οδηγήσει σε υποϋδάτωση, ενώ η κατακράτηση νερού πάνω από τα φυσιολογικά όρια, σε υπερυδάτωση. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, οι νεφροί απαντούν στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, αποβάλλοντας την περίσσεια νερού σε κατάσταση υπερυδάτωσης και κατακρατώντας νερό σε περίπτωση υποϋδάτωσης. Αυτή ακριβώς η διατήρηση ενός φυσιολογικού εσωτερικού περιβάλλοντος, έτσι ώστε το νερό, οι ηλεκτρολύτες, οι ορμόνες και άλλες ουσίες απαραίτητες για τη ζωή να βρίσκονται σε πλήρη ισορροπία μέσα στο σώμα μας, καλείται ομοιόσταση (Williams, 2003).

Σχήμα 1. *Κατανομή νερού στα διάφορα διαμερίσματα σωματικών υγρών ανά κιλό σωματικούς βάρους (ΣΒ): Edelman and Leibman, 1959.*



Ανταλλαγή υγρών ανάμεσα στα διαμερίσματα σωματικών υγρών

Ο μεγάλος ρυθμός αιματικής ροής που παρατηρείται σε ολόκληρο το σώμα οφείλεται στην πίεση που δημιουργεί η καρδιά λειτουργώντας ως αντλία. Η ροή αυτή, η οποία είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής, έχει μία συγκεκριμένη κατεύθυνση και αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «ροή όγκου». Ο μεγάλος βαθμός διακλάδωσης των αιμοφόρων αγγείων δίνει τη δυνατότητα σε όλα τα κύτταρα στο σώμα να βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση από τις μικρότερες διακλαδώσεις, τα τριχοειδή (Vander et al., 2001). Οι θρεπτικές ουσίες και τα προϊόντα του μεταβολισμού διακινούνται μεταξύ του τριχοειδικού αίματος και του μεσοκυττάριου υγρού, καθώς και μεταξύ του

μεσοκυττάριου υγρού και του εσωτερικού των κυττάρων (Vander et al., 2001). Υπάρχουν τρεις κύριοι μηχανισμοί με τους οποίους οι διάφορες θρεπτικές ουσίες μετακινούνται διαμέσου των τριχοειδικών τοιχωμάτων. Αυτές είναι: α) η διάχυση, β) η μεταφορά με κυστίδια και γ) η ροή όγκου. Παράλληλα, όμως, με την ανταλλαγή θρεπτικών ουσιών, μια άλλη διεργασία λαμβάνει χώρα κατά μήκος των τριχοειδών: η ροή όγκου του ελεύθερου από πρωτεΐνες πλάσματος (Senay, 1998). Σκοπός αυτής της μετακίνησης νερού δεν είναι τίποτε άλλο, παρά η κατανομή του εξωκυττάριου υγρού.

Το νερό έχει την ικανότητα να διαπερνά όλα τα διαμερίσματα των σωματικών υγρών στο σώμα, ενώ η κατεύθυνση βάσει της οποίας κινείται, καθορίζεται από δυνάμεις που έχουν αναλυθεί λεπτομερώς από τον Starling (1894, 1896). Οι δυνάμεις που ορίζουν την κίνηση του νερού ανάμεσα στο ενδαγγειακό και διακυττάριο χώρο, είναι η ωσμωτική και η υδροστατική πίεση (Pappenheimer, 1953), ενώ η μεταφορά του νερού ανάμεσα στο διακυττάριο και ενδοκυττάριο χώρο εξαρτάται κυρίως από ωσμωτικές δυνάμεις (Aronson, 1990). Για παράδειγμα η μεταφορά του νερού από το διακυττάριο περιβάλλον στο ενδοκυττάριο εξαρτάται από την δράση μιας ATPάσης, της επονομαζόμενης αντλίας Νατρίου-Καλίου (Na-K). Σε περίπτωση που η δράση της παραπάνω αντλίας μειωθεί ή παρεμποδιστεί πλήρως, τότε νάτριο συνοδευόμενο από νερό θα περάσει στο εσωτερικό του κυττάρου και το τελευταίο θα διογκωθεί. Αυτές οι βασικές βιολογικές δυνάμεις καθορίζουν μεταφορά του νερού ανάμεσα στα διαμερίσματα σωματικών υγρών και παρέχουν τη βάση για την μελέτη οποιασδήποτε διατάραξης του συνολικού σωματικού νερού που συμβαίνει σε καταστάσεις, όπως το θερμικό στρες (Senay, 1998).

Η ανταλλαγή υγρών μεταξύ του διακυττάριου και του ενδαγγειακού χώρου είναι καίριας σημασίας. Διατάραξη της ισορροπίας υγρών σε κάποιο ή κάποια από τα

σωματικά διαμερίσματα, όπως για παράδειγμα ελάττωση του όγκου πλάσματος και κυτταρική αφυδάτωση, τα οποία συμβαίνουν συχνά κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον, μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση κόπωσης ή θερμικής βλάβης (Vander et al., 2001). Προκειμένου να διατηρηθεί η ομοιόσταση των υγρών στον οργανισμό μας, επενεργούν δύο δυνάμεις με αντίθετες δράσεις: η μία κατακρατά υγρά στον ενδαγγειακό χώρο, ενώ η άλλη απομακρύνει υγρά από αυτόν. Στις δύο αυτές λειτουργίες συντελούν πολλοί παράγοντες. Όπως πρωτοανέφερε και ο Starling (1896), η υδροστατική πίεση μέσα στα τριχοειδή αγγεία αποτελεί την κυριότερη αιτία για την έξοδο του νερού από αυτά. Σε όλο το σώμα, η ροή του αίματος είναι πάντοτε από μια περιοχή με υψηλότερη πίεση προς μια περιοχή με χαμηλότερη πίεση. Ο όρος «πίεση» αναφέρεται στη δύναμη που ασκείται από το αίμα. Η πίεση που ασκείται από ένα υγρό, καλείται υδροστατική πίεση (Vander et al., 2001). Όταν υπάρχει διαφορά υδροστατικής πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του, το τριχοειδικό τοίχωμα συμπεριφέρεται ως ένα πορώδες φίλτρο δια μέσου το οποίου κινείται το ελεύθερο πρωτεϊνών πλάσμα με ροή όγκου από το πλάσμα του τριχοειδούς στο μεσοκυττάριο υγρό. Το μέγεθος της ροής όγκου εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ της πίεσης στο τριχοειδικό αίμα και της υδροστατικής πίεσης στο μεσοκυττάριο υγρό (Vander et al., 2001). Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, η πρώτη πίεση είναι μεγαλύτερη από τη δεύτερη και άρα, υπάρχει μεγάλη διαφορά υδροστατικής πίεσης, ώστε το ελεύθερο πρωτεϊνών πλάσμα να μετακινηθεί στο μεσοκυττάριο υγρό, ενώ οι πρωτεΐνες παραμένουν εγκλωβισμένες στο πλάσμα. Προκύπτει, όμως, εύλογα το ερώτημα: Γιατί, όμως δεν διηθείται όλο το πλάσμα προς το μεσοκυττάριο υγρό; Η απάντηση είναι ότι η διαφορά υδροστατικής πίεσης που ωθεί το πλάσμα προς το μεσοκυττάριο υγρό αντισταθμίζεται από μια δύναμη που

αντιτίθεται στην παραπάνω διήθηση, η επονομαζόμενη ωσμωτική πίεση (Vander et al., 2001). Ωσμωτικότητα ονομάζεται η ποσότητα ή συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών μέσα σε ένα διάλυμα (Vander et al., 2001). Το πλάσμα του τριχοειδούς και το μεσοκυττάριο υγρό περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαλυμένων ουσιών, π.χ. νάτριο, χλώριο και γλυκόζη που είναι ωσμωτικά ενεργές. Ένα mole μη ιονιζόμενης ουσίας, όπως είναι η γλυκόζη, διαλυμένης σε ένα 1 λίτρο νερού, αντιστοιχεί σε 1 osmole. Παρομοίως, ένα millimole (mmol) αυτής της ουσίας αντιστοιχεί σε 1 milliosmole (mOsm). Ωστόσο, όταν ένα mole μιας ουσίας μπορεί να διασπαστεί σε δύο ιόντα, π.χ. το χλωριούχο νάτριο, ισοδυναμεί με 2 osmoles (Williams, 2003). Όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμένης ουσίας χωριστούν από μία διαπερατή μεμβράνη, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα σωματικά διαμερίσματα υγρών, τότε αναπτύσσεται μία διαφορά πίεσης που οδηγεί σε μετακίνηση του νερού. Η πίεση αυτή καλείται ωσμωτική πίεση (Williams, 2003). Το νερό κινείται διαμέσου της μεμβράνης από το διάλυμα με χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας (υπότονο διάλυμα) προς το διάλυμα με μεγάλη συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας (υπέρτονο διάλυμα). Ισχύει ο γενικός κανόνας ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών δημιουργούν υψηλές ωσμωτικές πιέσεις και τείνουν να ελκύουν νερό μέσα στα διαμερίσματά τους (Williams, 2003). Επειδή το τριχοειδικό τοίχωμα είναι πολύ διαπερατό σε όλες τις παραπάνω διαλυμένες ουσίες, οι συγκεντρώσεις αυτών στον τριχοειδικό χώρο και το μεσοκυττάριο υγρό είναι στην ουσία ίδιες.

Αντίθετα, οι πρωτεΐνες πλάσματος διαπερνούν δύσκολα το τριχοειδικό τοίχωμα, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους στο μεσοκυττάριο υγρό να είναι χαμηλότερη. Σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο, αυτό σημαίνει ότι τελικά, οι πρωτεΐνες

πλάσματος είναι εκείνες που δημιουργούν την ωσμωτική πίεση που ανταγωνίζεται την υδροστατική (Vander et al., 2001; Senay, 1998). Η ωσμωτική αυτή πίεση του πλάσματος που προέρχεται από τα μεγάλα αυτά πρωτεϊνικά μόρια, καλείται κολλοειδοωσμωτική ή ογκωτική. Συνεπώς, οι πρωτεΐνες αποτελούν την κύρια αιτία κατακράτησης υγρών στα τριχοειδή. Ήδη από το 1896, ο Starling εξέφρασε την άποψη ότι οι πρωτεΐνες πλάσματος δεν αφήνουν τον αγγειακό χώρο και ως συνέπεια η συγκέντρωση πρωτεϊνών στο διακυττάριο περιβάλλον να είναι απειροελάχιστη σε σχέση με αυτή του όγκου πλάσματος (Pitts, 1974; Valtin and Schafer, 1995). Στην πραγματικότητα, όμως, μόνο το 40% των πρωτεϊνών που θεωρούνται πρωτεΐνες πλάσματος παρευρίσκονται σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή μέσα στον αγγειακό χώρο (Senay, 1998). Στους ανθρώπους η συνολική συγκέντρωση πρωτεϊνών πλάσματος ανέρχεται γύρω στα 7 g/dl. Επομένως, στον άντρα 70 κιλών, η ποσότητα αυτών είναι γύρω στα 210 gr. Πώς δημιουργείται η ισορροπία στις πρωτεΐνες; Αυτή φαίνεται ότι βρίσκεται ανάμεσα στη μεσοκυττάριο χώρο και τη λέμφο. Οι πρωτεΐνες μέσα στον αγγειακό χώρο διαπερνούν τα αγγειακά τοιχώματα είτε μέσω σχισμών που υπάρχουν σε αυτά, είτε ακόμα πιο συχνά, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται «πινοκύττωση» (Schneeberger, 1972). Στην περίπτωση αυτή τα αγγειακά τοιχώματα αναδιπλώνονται με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρά κυστίδια των οποίων το περιεχόμενο είναι αυτό του πλάσματος. Στη συνέχεια, τα κυστίδια διαπερνούν τα ενδοθηλιακά κύτταρα μέσω μιας διαδικασίας παρόμοιας με τη διάχυση, και το περιεχόμενό τους χύνεται μέσα στο διακυττάριο χώρο. Οι πρωτεΐνες που φεύγουν από το πλάσμα αναπληρώνονται από αυτές που εισέρχονται μέσω της λέμφου από το διακυττάριο χώρο. Η ποσότητα των πρωτεϊνών που αναφέρονται ως πρωτεΐνες του διακυττάριου χώρου είναι 315 gr σε όγκο 11 λίτρων, δηλαδή 2.9 gr/dl. Κανείς δεν

μπορεί να απαντήσει που ακριβώς βρίσκονται οι πρωτεΐνες αυτές μέσα στο διακυττάριο χώρο, για το λόγο ότι ο διακυττάριος όγκος περιέχει μικρή ποσότητα υαλουρονικού οξέος (< 1%), το οποίο μετατρέπει τα υγρά σε ζελοειδή μορφή. Το μέγεθος του διακυττάριου χώρου καθορίζεται από δύο παράγοντες:

α) τον ενδαγγειακό όγκο και

β) των όγκο των κυττάρων.

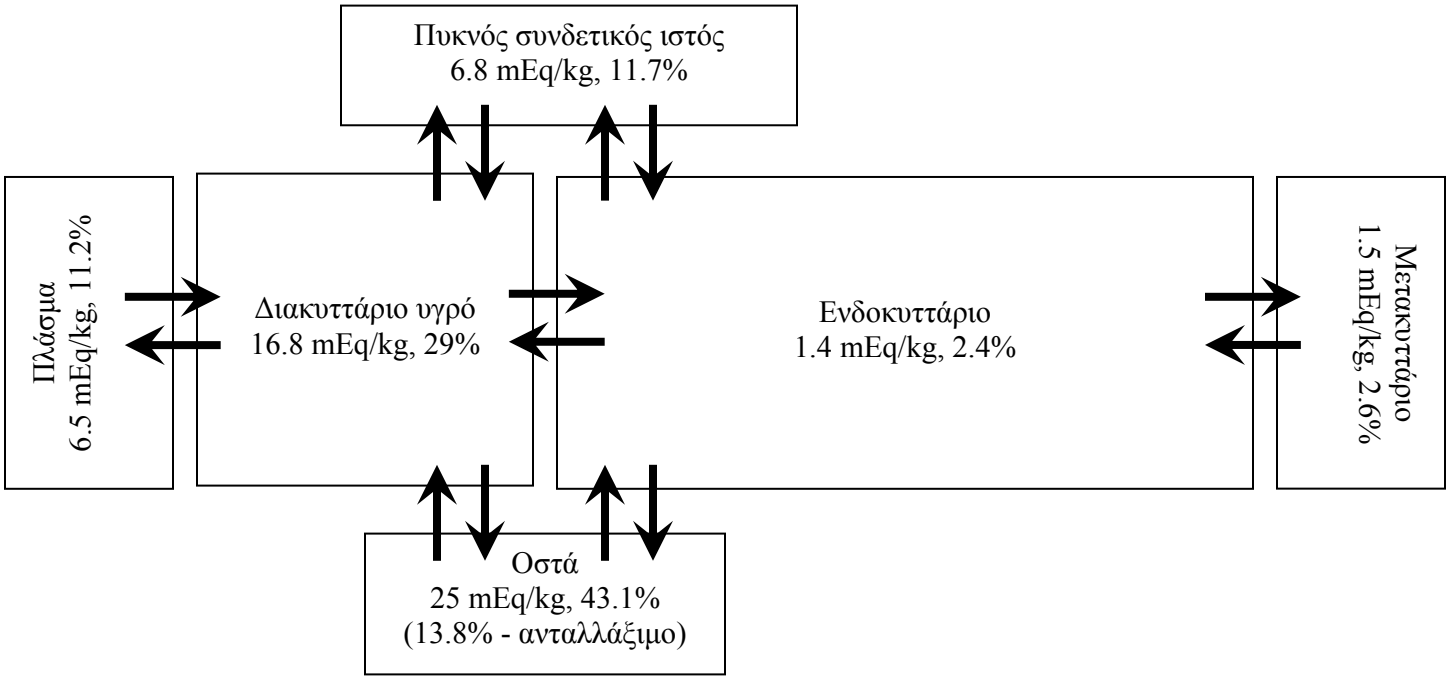
Δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη διαδικασία που να προκαλεί αύξηση ή μείωση του μεγέθους του σε υγιείς ενήλικες. Σε κατάσταση ηρεμίας, όμως, φαίνεται ότι καθορίζεται από την ινώδη δομή του διακυττάριου περιβάλλοντος, την ζελώδη σύσταση του, καθώς και το ρυθμό λεμφικής επαναφοράς των πρωτεϊνών στον ενδαγγειακό χώρο (Guyton, 1975). Ο διακυττάριος χώρος έχει τη δυνατότητα να κατακρατά μια σημαντική ποσότητα υγρών για τη διατήρηση της ενδοτικότητας του (αλλαγή όγκου ανά μονάδα αλλαγής πίεσης), όπως ακριβώς και το κυκλοφορικό σύστημα (Guyton, 1965). Αυτή η κατακράτηση πραγματοποιείται όταν η απομάκρυνση πρωτεϊνών και υγρών από το διακυττάριο χώρο μειώνεται ή αναστέλλεται πλήρως. Ακριβώς σε αυτό το λόγο, οφείλεται το πρήξιμο των καρπών και ποδιών κατά τη διάρκεια αεροπορικών πτήσεων που διαρκούν πολλές ώρες.

Ιονικό περιεχόμενο στα διαμερίσματα των σωματικών υγρών

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα κυριότερα ιόντα που υπάρχουν στον ανθρώπινο οργανισμό είναι το νάτριο, το κάλιο και το χλώριο. Η συνολική ποσότητα νατρίου (Na) στο σώμα είναι 4150 mEq και το 40% περίπου της ποσότητας αυτής βρίσκεται στα οστά, ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται κυρίως στο εξωκυττάριο υγρό (Bland, 1963). Το είδος του νατρίου που χρήζει ιδιαίτερης σημασίας είναι εκείνο που «ανταλλάσσεται γρήγορα». Αυτό σημαίνει ότι κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης, το συγκεκριμένο νάτριο έχει την ικανότητα να διαχέεται γρήγορα και να ανταλλάσσεται με άλλα ιόντα, όπως το κάλιο. Η συνολική ποσότητα του γρήγορα ανταλλάξιμου νατρίου στο σώμα είναι 2900 mEq, ενώ το εξωκυττάριο υγρό διαθέτει 138 με 145 mEq/l πλάσματος. Μια πιο ακριβής, αλλά λιγότερο συχνή μονάδα μέτρησης, είναι ανά κιλό νερού, ωστόσο χρειάζεται να γίνει διόρθωση ως προς τον όγκο πλάσματος που κατέχουν οι πρωτεΐνες (Eisenman et al., 1936). Σε αυτή την περίπτωση, η συγκέντρωση νατρίου διακυμαίνεται από 148 έως 156 mEq/kg νερού. Στο σχήμα 2 φαίνεται η κατανομή νατρίου ανά κιλό σωματικού βάρους σύμφωνα με Edelman and Leibman (1959). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές εκτίμησαν ότι το νάτριο στο σώμα μας είναι 58mmol/kg σωματικού βάρους, από το οποίο το 70% είναι γρήγορα ανταλλάξιμο. Αν πολλαπλασιάσουμε τη συγκέντρωση του ανταλλάξιμου νατρίου στο εξωκυττάριο υγρό (≈140 mEq) με τον όγκο εξωκυττάριου υγρού (≈14 λίτρα) και διαιρέσουμε το αποτέλεσμα με την συνολική ποσότητα του γρήγορα ανταλλάξιμου νατρίου στο σώμα, τότε προκύπτει ότι το γρήγορα ανταλλάξιμο νάτριο στο εξωκυττάριο υγρό είναι 70% (140x14/2900 = 0.68, οπότε 0.68 x 100 = 68% ≈ 70%). Το νάτριο αυτό μαζί με το άλλο ανιόν, το χλώριο, αποτελούν το 96% όλων των ωσμωτικά ενεργών ουσιών στο

εξωκυττάριο υγρό. Συμπερασματικά, το νάτριο είναι εκείνο που καθορίζει το μέγεθος του εξωκυττάριου υγρού (Lassiter, 1990). Το υπόλοιπο γρήγορα ανταλλάξιμο νάτριο βρίσκεται στα οστά και στο πυκνό συνδετικό ιστό, ενώ το ενδοκυττάριο νάτριο δεν είναι γρήγορα ανταλλάξιμο. Το μέγεθος του εξωκυττάριου όγκου εξαρτάται από τη συγκέντρωση νατρίου, και η συγκέντρωση νατρίου στο εξωκυττάριο όγκο με τη σειρά της εξαρτάται από παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία υγρών (Mack and Nadel, 1996; Lassiter, 1990; Aronson, 1990).

Σχήμα 2. *Κατανομή νατρίου στα διάφορα διαμερίσματα σωματικών υγρών ανά κιλό σωματικού βάρους (ΣΒ): Edelman and Leibman, 1959.*



Κάτι παρόμοιο συμβαίνει και με το βασικό ενδοκυττάριο κατιόν, το κάλιο (K^+) (Bland, 1963). Στον άντρα 70 κιλών, η συνολική ποσότητα καλίου στο σώμα ανέρχεται στα 3700 mEq, ενώ το γρήγορα ανταλλάξιμο στα 3400 mEq. Από την τελευταία ποσότητα, 56-70 mEq (4-5 mEq/l) βρίσκεται στο εξωκυττάριο υγρό, ενώ περίπου το 90% στο εσωκυττάριο (150 mEq/l), με πολύ μικρή ποσότητα στα οστά (8%). Τέλος, το χλώριο (Cl^-), το κυριότερο ανιόν του εξωκυττάριου υγρού, βρίσκεται στο σώμα σε συνολική ποσότητα 2250 mEq, από την οποία τα 2150 mEq είναι γρήγορα ανταλλάξιμα. (Bland, 1963). Για τον άντρα 70 κιλών, η συγκέντρωση χλωρίου στον εξωκυττάριο χώρο είναι 1400-1450 mEq. Δηλαδή, το περισσότερο χλώριο υπάρχει στο εξωκυττάριο υγρό, ενώ το υπόλοιπο κατανέμεται όπως περίπου το νάτριο.

Η κατανομή των παραπάνω ιόντων, κυρίως του νατρίου και του καλίου, κατά μήκος των κυτταρικών μεμβρανών, διατηρείται με τη βοήθεια μιας μεταβολικής διαδικασίας χρησιμοποιώντας ένα ένζυμο μεταφορέα, ο οποίος καταναλώνει ενέργεια με τη μορφή ATP. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το ένζυμο αυτό καλείται Na-K ATPάση. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, το νάτριο διαχέεται στο ενδοκυττάριο χώρο, όπου η συγκέντρωση νατρίου είναι χαμηλή (10 mEq/l), ενώ το κάλιο στο εξωκυττάριο, εφόσον η ενδοκυττάρια συγκέντρωσή του είναι υψηλή (150 mEq/l). Το παραπάνω ένζυμο όμως, λειτουργώντας ως αντλία, μετακινεί το νάτριο εκτός του κυττάρου και την ίδια στιγμή το κάλιο μέσα σε αυτό. Με άλλα λόγια, αυτή η μετακίνηση των ιόντων λαμβάνει χώρα ενάντια στη φυσιολογική τους ροή και για αυτό το λόγο καταναλώνεται ενέργεια. Για κάθε 3 ιόντα νατρίου που μεταφέρονται εκτός του κυττάρου, 2 ιόντα καλίου εισέρχονται σε αυτό. Σε ευαίσθητους ιστούς, όπως είναι ο μυϊκός και ο νευρικός, η παραπάνω κατανομή των ιόντων κατά μήκος των κυτταρικών μεμβρανών έχει πολύ μεγάλη

σημασία, τόσο σε κατάσταση ανάπαυσης, όσο και σε κατάσταση διέγερσής τους (Guyton, 1991).

Η διαφορά στη συγκέντρωση πρωτεϊνών ανάμεσα στον ενδοκυττάριο και μεσοκυττάριο όγκο επηρεάζει την κατανομή των ιόντων στα δύο αυτά διαμερίσματα. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως ισορροπία Gibbs-Donnan και υποστηρίζει ότι η παρουσία ενός μη διαχεόμενου ιόντος από την μία πλευρά της ημι-διαπερατής μεμβράνης (για παράδειγμα το τοίχωμα των τριχοειδών), καθορίζει την κατανομή των διαχεόμενων ιόντων και στις δύο πλευρές της ίδιας μεμβράνης (Valtin and Schafer, 1995). Στον ενδαγγειακό όγκο και πιο συγκεκραμένα σε αρτηριακό pH, οι πρωτεΐνες (κυρίως η αλβουμίνη) φέρουν αρνητικό φορτίο διότι βρίσκονται σε αλκαλική περιοχή του ισο-ηλεκτρικού τους σημείου. Προκειμένου να αντισταθμισθεί το αρνητικό φορτίο αυτών των πρωτεϊνών και να γίνει ηλεκτρικά ουδέτερο, πρέπει να ασκηθούν θετικά φορτία. Στα θηλαστικά, θετικό φορτίο υπάρχει στα ιόντα νατρίου. Από τη στιγμή, λοιπόν, που οι πρωτεΐνες των τριχοειδικών αγγείων φέρουν μεγαλύτερα αρνητικά φορτία από ότι αυτές στο μεσοκυττάριο υγρό, υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα νατρίου και μικρότερη ποσότητα χλωρίου στον ενδαγγειακό χώρο από ότι στο μεσοκυττάριο.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι διαλυμένες ουσίες στο πλάσμα και το διακυττάριο υγρό ασκούν ωσμωτική πίεση. Ένα μικρό μέρος όμως, της ωσμωτικής πίεσης του πλάσματος οφείλεται στην ογκωτική πίεση που ασκούν οι πρωτεΐνες. Όταν τα αρνητικά φορτία των τελευταίων συναντηθούν με ισάριθμα ιόντα νατρίου, η ογκωτική πίεση πλάσματος αυξάνει από 25 σε 28 mmHg. Ως αποτέλεσμα, η ωσμωτική πίεση στο πλάσμα, είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή στο διακυττάριο χώρο και συνεπώς,

οποιαδήποτε μετακίνηση πρωτεϊνών ή νερού σε ένα από τα δύο αυτά εξωκυττάρια διαμερίσματα θα επηρεάσει την κατανομή των σωματικών υγρών (Senay, 1998).

Ανακεφαλαιώνοντας, για να μετακινηθεί υγρό διαμέσου του τριχοειδικού τοιχώματος επενεργούν δύο αντίθετες δυνάμεις:

1) η διαφορά υδροστατικής πίεσης ανάμεσα στο τριχοειδικό αίμα και το μεσοκυττάριο υγρό, η οποία προάγει τη διήθηση έξω από το τριχοειδές και
2) η διαφορά ωσμωτικής πίεσης ανάμεσα στο τριχοειδικό αίμα και το μεσοκυττάριο υγρό, η οποία προάγει τη διήθηση στον τριχοειδικό χώρο.

Επομένως, η καθαρή πίεση διήθησης (ΚΠΔ) εξαρτάται από την υδροστατική πίεση του τριχοειδούς που ωθεί το νερό έξω από αυτό ($ΥΠ_{τρ}$), την υδροστατική πίεση του μεσοκυττάριου υγρού που ωθεί τον νερό μέσα στο τριχοειδές ($ΥΠ_{μ}$), την ογκωτική πίεση του τριχοειδούς που ευνοεί την είσοδο του νερού σε αυτό ($ΟΠ_{τρ}$) και την ογκωτική πίεση του μεσοκκυτάριου υγρού που ευνοεί την έξοδο του νερού από το τριχοειδές ($ΟΠ_{μ}$).

$$\mathbf{ΚΠΔ = ΥΠ_{τρ} + ΥΠ_{μ} + ΟΠ_{τρ} + ΟΠ_{μ}}$$

Οι τέσσερις αυτοί παράγοντες ονομάζονται δυνάμεις του Starling (1896).

Ισορροπία υγρών-ηλεκτρολυτών σε θερμικό στρες

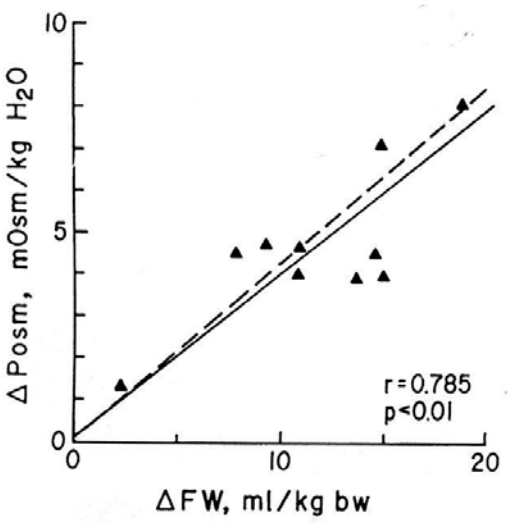
Το θερμικό στρες είναι μία κατάσταση η οποία αποτελεί απειλή για τη διατήρηση του συνολικού όγκου υγρών και της ιονικής του σύστασης. Υψηλή έκθεση σε θερμικό στρες έχει ως αποτέλεσμα την αντίδραση του οργανισμού, προκαλώντας διάφορες φυσιολογικές προσαρμογές που έχουν ως σκοπό να τον προστατεύσουν από την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα. Αυτές οι φυσιολογικές προσαρμογές περιλαμβάνουν την ανακατανομή της αιματικής ροής και της ροής όγκου αίματος από τα

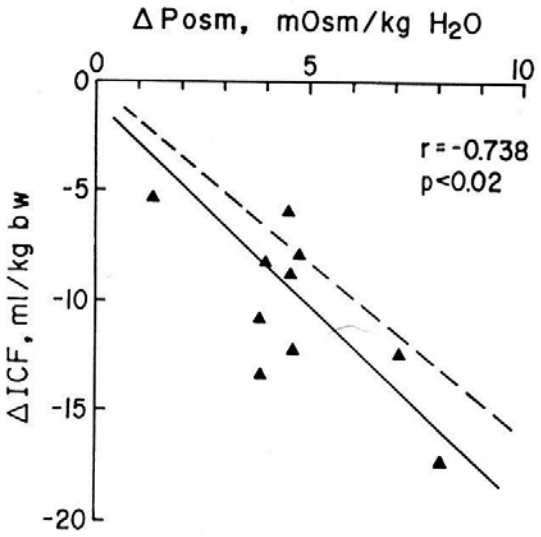
σπλαχνικά όργανα προς το δέρμα, γεγονός το οποίο διοχετεύει τη περίσσεια θερμότητας από το εσωτερικό του σώματος προς την επιφάνεια. Ο μεγάλος ρυθμός εφίδρωσης στους ανθρώπους (Winslow et al, 1937), το λαχάνιασμα των κατοικίδιων ζώων (Bianca, 1967) και η αποβολή σιέλου από τα ποντίκια (Hart, 1971), αυξάνει την αποβολή θερμότητας από την επιφάνεια του δέρματος προς το περιβάλλον. Αυτό όμως, έχει ως συνέπεια τη σταδιακή μείωση του συνολικού όγκου νερού, οδηγώντας τόσο σε μείωση του μεγέθους των διαμερισμάτων των σωματικών υγρών, όσο και σε αύξηση της τονικότητας τους (Serge et al., 2004; Senay, 1998). Σε αυτή τη περίπτωση, η απώλεια σωματικών υγρών εξαρτάται από το συνολικό θερμικό φορτίο, δηλαδή από το άθροισμα του εσωτερικού θερμικού φορτίου, που σχετίζεται με την ένταση τη άσκησης και του εξωτερικού, που έχει να κάνει με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (Mack and Nadel, 1996; Shapiro et al., 1982). Στον άνθρωπο, η απώλεια υγρών από το σώμα μπορεί να ξεπεράσει τα 30 gr/min (1,8l/h) σε καταστάσεις μεγάλου ρυθμού εφίδρωσης (Sawka and Pandolf, 1990; Armstrong et al., 1986; Shapiro et al., 1982). Αυτή η απώλεια υγρών προέρχεται από όλα τα διαμερίσματα σωματικών υγρών, συμπεριλαμβανομένου και του ενδαγγειακού χώρου (Nose et al., 1988c; Wallace et al., 1970; Kozlowski et al., 1973; Hamilton and Schwartz, 1936; Hamilton et al., 1924).

Πιο συγκεκριμένα, όταν ένα άτομο αρχίζει να ιδρώνει κατά τη διάρκεια της άσκησης, αλλά δεν πίνει υγρά, τότε η σύσταση του ιδρώτα είναι εκείνη που καθορίζει το μέγεθος των αλλαγών που θα συμβούν στα σωματικά διαμερίσματα υγρών. Ο ιδρώτας που παράγεται είναι υποτονικός σε σχέση με τη σύσταση του πλάσματος και του διακυττάριου υγρού (Williams, 2003; Senay, 1998; Sato, 1993; Costill, 1977). Αυτό σημαίνει ότι τα μόρια με ωσμωτικές ιδιότητες εγκλωβίζονται στο διακυττάριο υγρό κάτω

από την επιφάνεια του δέρματος. Ως συνέπεια αυξάνει η ωσμωτική διαφορά ανάμεσα στο αίμα και το διακυττάριο υγρό του δέρματος και το νερό αναγκάζεται να αφήσει τον ενδαγγειακό χώρο. Έχει γίνει μεγάλη συζήτηση σχετικά με το βαθμό που συμμετέχει κάθε ένα από τα διαμερίσματα υγρών στην απώλεια υγρών από τους ιδρωτοποιούς αδένες. Ο Kozlowzki και ο Saltin (1964) ανέφεραν ότι η απώλεια νερού από το πλάσμα είναι 2.5 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των υπολοίπων διαμερισμάτων. Η άποψη αυτή, όμως, δεν φαίνεται να ισχύει. Το πλάσμα αποτελείται κατά 93% από νερό, ενώ ολόκληρο το σώμα, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, από 60% νερό και θεωρητικά, η απώλεια νερού από το σώμα θα έπρεπε να αντικατροπτίζει την αναλογία 93/60. Αυτό ακριβώς επιβεβαιώθηκε από τη μελέτη του Senay το 1975, ενώ κάτι παρόμοιο φαίνεται να ισχύει γενικότερα για όλους τους ιστούς (Pitts, 1974). Ανάλογα με την περιεκτικότητα νερού που έχει κάθε ιστός στο σώμα, κατανέμεται και η συνεισφορά του νερού προκειμένου να ικανοποιηθεί η διαφορά ωσμωτικής πίεσης ανάμεσα στο εσωκυττάριο υγρό και το διακυττάριο χώρο μέσω του αίματος. Πολλές μελέτες έγιναν πάνω σε αυτό το θέμα με τις περισσότερες να έχουν δείξει ότι κατά τη διάρκεια διαλειμματικής άσκησης (30 min έως 2 ώρες), η απώλεια νερού μέσω ιδρώτα οφείλεται κατά 55% στο εξωκυττάριο χώρο (Morimoto et al., 1988; Nose et al., 1988c; Costill et al., 1976; Kozlowski and Saltin, 1964). Η συνεισφορά του πλάσματος για την παραγωγή ιδρώτα έχει βρεθεί ότι είναι γύρω στο 10%, ενώ αυτή του εσωκυττάριου υγρού γύρω στο 45%. Στο παράδειγμα του άντρα 70 κιλών, αν η απώλεια νερού μέσω ιδρώτα αντιστοιχεί στο 3% του σωματικού του βάρους, τότε η απώλεια των 2.1 κιλών κατανέμεται ως εξής: 1.16 kg από το εξωκυττάριο υγρό, 0.21 kg από το πλάσμα και 0.95 kg από το ενδοκυττάριο υγρό (Senay, 1998). Πρέπει όμως, να αναφερθεί πως η παραπάνω κατανομή του νερού στα

διαμερίσματα υγρών δεν είναι η ίδια όταν σταματήσει η άσκηση. Ο Nose και οι συνεργάτες σε μια έρευνα το 1988 (c), αφυδάτωσαν τους εθελοντές τους γύρω στο 2.3% του συνολικού σωματικού νερού. Πιο συγκεκριμένα, μελέτησαν τη ροή υγρών και ηλεκτρολυτών 10 εθελοντών κατά τη διάρκεια ελαφριάς άσκησης 2 ωρών στη ζέστη, καθώς και κατά τη διάρκεια αποκατάστασης (1 ώρα) χωρίς την πρόσληψη υγρών. Η μέση συγκέντρωση νατρίου και καλίου στον ιδρώτα ήταν 56.5 και 9.6 mEq/l, αντίστοιχα. Οι αλλαγές στον όγκο του διακυττάριου διαμερίσματος μετά την αφυδάτωση λόγω άσκησης 30 min, κυμαίνονταν γύρω στα 10 ml/kg σωματικού βάρους, ενώ στον όγκο του εξωκυττάριου υγρού γύρω στα 12.3 ml/kg σωματικού βάρους. Στο χρονικό διάστημα 30 min μετά την άσκηση, παρατηρήθηκε μερική αποκατάσταση στο πλάσμα. Ο όγκος πλάσματος μειώθηκε στα 9.4% αμέσως μετά την άσκηση, 5.6% μετά από 30 min άσκησης και 5% μετά από 60 min άσκησης. Οι συγγραφείς θεώρησαν ότι αυτή η αύξηση στον όγκο πλάσματος οφείλονταν στο διακυττάριο υγρό. Από ότι φαίνεται η μείωση της υδροστατικής πίεσης στη κυκλοφορία του αίματος είναι η αιτία που μείωσε τον όγκο του διακυττάριου διαμερίσματος. Κάτι παρόμοιο παρατηρήθηκε και από τους Astrand και Saltin (1964). Ως αποτέλεσμα, η μείωση στην υδροστατική πίεση στο τέλος της άσκησης επιτρέπει στην ογκωτική πίεση να δράσει προκαλώντας αύξηση του νερού στον ενδαγγειακό όγκο. Αυτή η μερική επαναφορά στον όγκο υγρών ίσως παίζει σημαντικό ρόλο στην αποκατάσταση των μαραθωνοδρόμων που καταρρέουν μετά το τέλος του αγώνα (Noakes, 1995). Επιπλέον, όπως φαίνεται από το διάγραμμα 1, οι Nose και συνεργάτες (1988c) βρήκαν ότι η αύξηση στην ωσμωτικότητα πλάσματος οφείλεται στην απώλεια σωματικών υγρών, ενώ ταυτόχρονα, η μείωση του ενδοκυττάριου όγκου συσχετίζεται με την αύξηση της ωσμωτικότητας (διάγραμμα 2).





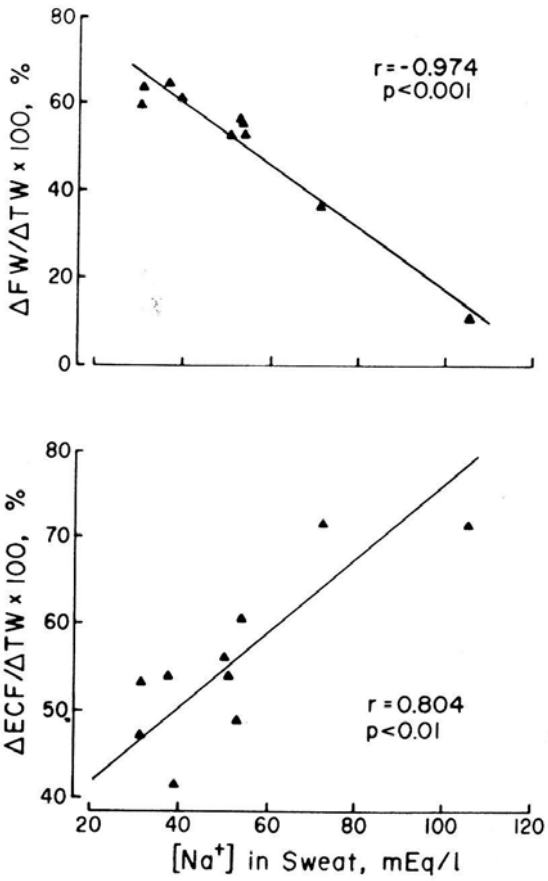
Διάγραμμα 1. *Αύξηση στην ωσμωτικότητα πλάσματος (ΔPosm) ως απόκριση στην 2.3% μείωση του συνολικού σωματικού νερού, εκτιμώμενη από την απώλεια καθαρού νερού στον εξωκυττάριο όγκο (ΔFW). Διακεκομμένη γραμμή: θεωρητική σχέση. Ευθεία γραμμή: πραγματική σχέση. Nose et al., 1988c.*

Διάγραμμα 2. *Αύξηση στην ωσμωτικότητα πλάσματος (ΔPosm) ως απόκριση στην 2.3% μείωση του συνολικού σωματικού νερού, σε σχέση με τη μείωση του ενδοκυττάριου όγκου (ΔICF). Διακεκομμένη γραμμή: θεωρητική σχέση. Ευθεία γραμμή: πραγματική σχέση. Nose et al., 1988c.*

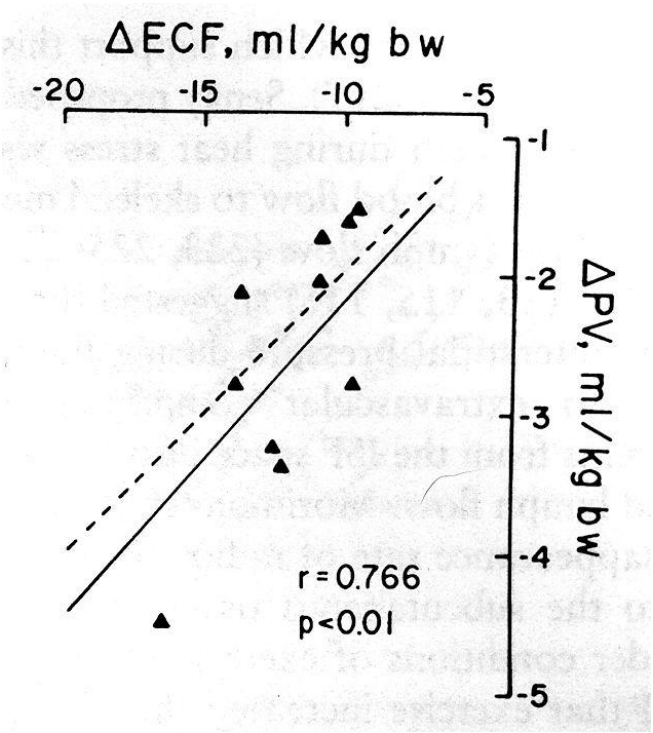
Αυτό σημαίνει ότι η μετακίνηση νερού μεταξύ του ενδοκυττάριου και εξωκυττάριου όγκου εξαρτάται από την ωσμωτική κλίση. Με άλλα λόγια οι ερευνητές απέδειξαν ότι κατά την αφυδάτωση, η αύξηση στην ωσμωτικότητα πλάσματος λόγω απώλειας καθαρού νερού από τον εξωκυττάριο όγκο, προωθεί τη μετακίνηση νερού από το ενδοκυττάριο χώρο στο πλάσμα (Mack and Nadel, 1996). Γενικά, η μελέτη αυτή ήρθε να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα άλλων ερευνών οι οποίοι βρήκαν ότι η ωσμωτικότητα

αυξάνεται αναλογικά με τη μείωση του σωματικού βάρους κατά την παθητική έκθεση στη ζέστη (Senay, 1972; Senay, 1968; Adolph, 1947). Ο Jimenez και συνεργάτες (1999) απέδειξαν ότι σε ένα δεδομένο επίπεδο αφυδάτωσης, ο όγκος πλάσματος μειώνεται περισσότερο μετά από παθητική έκθεση στη ζέστη σε σχέση με την αφυδάτωση λόγω άσκησης. Η υπερωσμωτικότητα πλάσματος όμως, ήταν ίση και για τις δύο περιπτώσεις.

Ο Dill και οι συνεργάτες (1976) πρότειναν ότι η μείωση στον όγκο πλάσματος κατά το βάδην στη έρημο είναι αντιστρόφως ανάλογο με τη συγκέντρωση χλωρίου στον ιδρώτα. Ο Nose και οι συνεργάτες (1988c) έδειξαν πως η συγκέντρωση νατρίου στον ιδρώτα καθορίζει τον όγκο υγρών που κινητοποιείται από το ενδοκυττάριο διαμέρισμα, με αποτέλεσμα ο τελευταίος να καθορίζει με τη σειρά του τον όγκο αίματος σε οποιοδήποτε επίπεδο αφυδάτωσης. Πιο συγκεκριμένα βρέθηκε ότι υπάρχει αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της απώλειας νερού και της συγκέντρωσης νατρίου στο ιδρώτα (διάγραμμα 3). Το διάγραμμα δείχνει δηλαδή, ότι η απώλεια νερού προκάλεσε αύξηση στην ωσμωτικότητα του πλάσματος κατά την αφυδάτωση, με αποτέλεσμα την κινητοποίηση του ενδοκυττάριου νερού προκείμενου να διατηρηθεί ο εξωκυττάριος όγκος. Με τη σειρά της, η μείωση του όγκου πλάσματος κατά την αφυδάτωση είναι αποτέλεσμα της μείωσης στον εξωκυττάριο όγκο (διάγραμμα 4), η οποία φαίνεται να σχετίζεται με τη συγκέντρωση νατρίου στον ιδρώτα (διάγραμμα 3). Επομένως, όσο πιο αραιός είναι ο ιδρώτας, τόσο περισσότερο επιτρέπει την διατήρηση του όγκου πλάσματος κατά την αφυδάτωση, κυρίως εξαιτίας της μεγάλης ροής του νερού από το ενδοκυττάριο περιβάλλον.



Διάγραμμα 3. *Επίδραση της συγκέντρωσης νατρίου ιδρώτα στη συνολική απώλεια σωματικών υγρών (πάνω) και στη μείωση του εξωκυττάριου όγκου (κάτω), διορθωμένα ως προς το συνολικό σωματικό νερό. Nose et al., 1988c.*



Διάγραμμα 4. *Σχέση μεταξύ του όγκου πλάσματος και εξωκυττάριου όγκου, μετά από απώλεια 2.3% των συνολικών σωματικών υγρών κατά την ελαφριά άσκηση στη ζέστη. Διακεκομμένη γραμμή: θεωρητική σχέση. Ευθεία γραμμή: πραγματική σχέση. Nose et al., 1988c.*

Όσον αφορά στη σύσταση του ιδρώτα, υπάρχουν μεγάλες διαφορές από άτομο σε άτομο. Μάλιστα, φαίνεται να υπάρχουν διακυμάνσεις ακόμα και στο ίδιο το άτομο (Senay, 1998). Σύμφωνα με μελέτες του Robinson και συνεργατών (1956), η περιεκτικότητα του ιδρώτα σε νάτριο και χλώριο εξαρτάται από τη συγκέντρωση αυτών των συστατικών στη διατροφή μας. Δίαιτα χαμηλής περιεκτικότητας σε αλάτι, έχει ως αποτέλεσμα μείωση της σύστασης του ιδρώτα σε νάτριο. Το ποσό του νατρίου που επαναπορροφάται εξαρτάται από την αλατοκορτικοειδή ορμόνη, την αλδοστερόνη (ALD). Η τελευταία παράγεται από τον φλοιό των επινεφριδίων και κύριος ρόλος της είναι να ερεθίζει την επαναπορρόφηση του νατρίου από τους φλοιώδεις αθροιστικούς πόρους, δηλαδή από το τελευταίο τμήμα των νεφρικών σωληναρίων. Όταν η συγκέντρωση αλδοστερόνης είναι σχεδόν μηδέν, περίπου 2% από το διηθημένο νάτριο (γύρω στα 35 γραμμάρια χλωριούχου νατρίου ημερησίως) δεν απορροφάται, αλλά απεκκρίνεται. Αντίθετα, όταν η συγκέντρωσή της στο πλάσμα είναι υψηλή, τότε όλο σχεδόν το νάτριο που φθάνει στους αθροιστικούς πόρους επαναπορροφάται (Vander et al., 2001). Έτσι μείωση στην πρόσληψη νατρίου, ενεργοποιεί την έκκριση αλδοστερόνης, με συνέπεια την επαναρρόφηση και έτσι διατήρηση των επιπέδων νατρίου στο σώμα (Sato, 1993). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το νάτριο είναι το βασικότερο κατιόν του εξωκυττάριου υγρού, μιας και ο όγκος του τελευταίου εξαρτάται από τη ποσότητα του νατρίου που παρευρίσκεται σε αυτό. Επίσης, το νάτριο μαζί με το χλώριο, συνεισφέρουν στην ωσμωτική πίεση του εξωκυττάριου υγρού, αφού έχει βρεθεί ότι το 96% της εξωκυττάριας ωσμωτικότητας οφείλεται στα δύο αυτά ιόντα (Senay, 1998). Προκύπτει εύλογα το ερώτημα: τι θα γίνει αν ο άντρας 70 κιλών με εξωκυττάρια

συγκέντρωση νατρίου 140 mEq/l, χάσει 2 λίτρα ιδρώτα συγκέντρωσης σε νάτριο και χλώριο 50 mEq/l;

Έστω ότι το άτομο καταναλώνει νερό ίσο σε ποσότητα με τη απώλεια ιδρώτα. Αν όλο το νερό εισέρχονταν στο εξωκυττάριο χώρο, τότε ο όγκος του εξωκυττάριου υγρού θα ήταν βέβαια φυσιολογικός (14 λίτρα), αλλά η συγκέντρωση νατρίου θα μειώνονταν στα 133 mEq/l. Παρόμοια μείωση θα συνέβαινε και για το χλώριο. Η μείωση στη συγκέντρωση των παραπάνω ιόντων θα έφερνε και μια μείωση στην ωσμωτικότητα γύρω στο 5-6%. Μια τέτοια μείωση θα προκαλούσε μείωση στην έκκριση της αντιδιουρητικής ορμόνης, με αποτέλεσμα αύξηση στην απέκκριση νερού από τους νεφρούς έως ότου η ωσμωτικότητα των σωματικών υγρών φθάσει τα πριν της άσκησης επίπεδα. Αν συμβεί αυτό, η συγκέντρωση νατρίου θα είναι μεν 140 mEq/l, αλλά ο εξωκυττάριος όγκος θα είναι 13.3 λίτρα. Όπως ανέφερε ο Nose και οι συνεργάτες (1988b), το παραπάνω φαινόμενο συμβαίνει αν η απώλεια υγρών αναπληρωθεί μόνο με νερό. Στην πραγματικότητα δηλαδή, μόνο το 51% του προσλαμβανόμενου νερού παραμένει στο σώμα, εξαιτίας του γεγονότος ότι η μείωση της ωσμωτικότητας προκαλεί μείωση στην παραγωγή της αντιδιουρητικής ορμόνης με αποτέλεσμα την αποβολή νερού από τα νεφρά.

Τι θα συνέβαινε αν ο άντρας δεν προσλάμβανε καθόλου νερό; Έστω ότι νερό και αλάτι χάνονταν μόνο από το εξωκυττάριο υγρό, τότε ο εξωκυττάριος όγκος θα γινόταν 12 λίτρα με συγκέντρωση νατρίου 155 mEq/l. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, το νερό θα μετακινηθεί σύμφωνα με την ωσμωτική κλίση, και σύμφωνα με Lundwall (1972), νερό θα μετακινηθεί μεταξύ πλάσματος και ενδοκυττάριου χώρου, μέχρις ότου επιτευχθεί εξισορρόπηση. Επιπρόσθετα, θα αυξηθεί η έκκριση της

αντιδιουρητικής ορμόνης προκαλώντας τα νεφρά να κατακρατήσουν νερό. Το ίδιο θα συμβεί και με την αλδοστερόνη (Francesconi et al., 1983). Φαίνεται, λοιπόν, πως ο όγκος αίματος προσπαθεί να διατηρηθεί εις βάρος της ωσμωτικότητας. Με την αφυδάτωση, η απώλεια νερού και ιόντων μειώνεται, ενώ η ωσμωτικότητα των σωματικών υγρών αυξάνει. Ως συνέπεια το άτομο θα έχει μειωμένο συνολικό σωματικό νερό και περίπου το 55% της απώλειας θα προέρχεται από τον εξωκυττάριο χώρο (Morimoto et al., 1988; Nose et al., 1988c; Costill et al., 1976; Kozlowski and Saltin, 1964). Ο εξωκυττάριος όγκος δηλαδή, θα έχει μειωθεί κατά 1.1 λίτρα και για να επανέλθει η συγκέντρωση νατρίου στα 140 mEq/l, μια επιπλέον συγκέντρωση 54 mEq θα πρέπει να απεκκριθεί. Ωστόσο, η περίσσεια συγκέντρωση ιόντων δεν απεκκρίνεται οδηγώντας σε αυξημένη ωσμωτικότητα σωματικών υγρών (Senay, 1998).

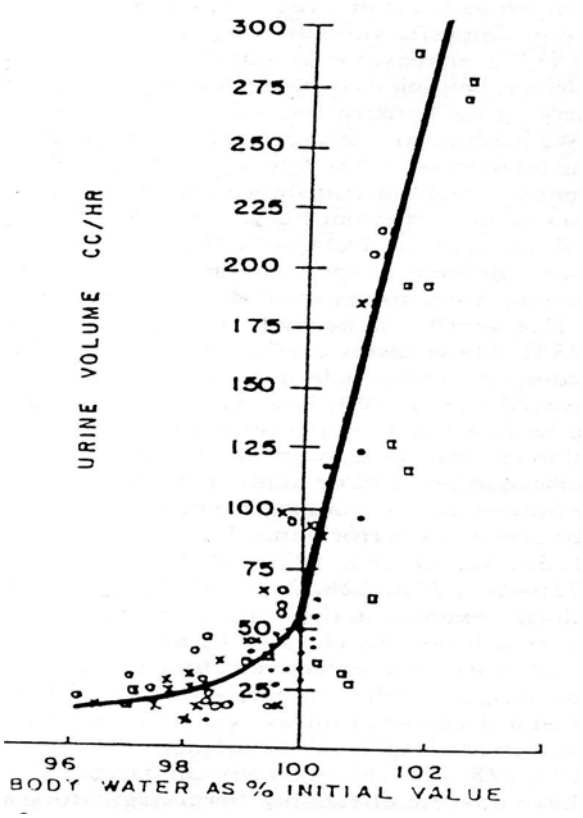
Σύμφωνα με τα παραπάνω, για να μελετήσουμε την ισορροπία υγρών στους ανθρώπους, η πιο κοινή πειραματική μέθοδος είναι να αυξήσουμε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (ξηρή θερμοκρασία) σε ένα τέτοιο επίπεδο, ώστε στον οργανισμό να προκληθούν ανιχνεύσιμες θερμορυθμιστικές προσαρμογές και πιο συγκεκριμένα, αγγειοδιαστολή και εφίδρωση. Ωστόσο, γνωρίζοντας μόνο τη θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν μας παρέχει επαρκή στοιχεία για το θερμικό φορτίο. Άλλοι παράγοντες, όπως η υγρασία, η ακτινοβολία και η κίνηση του αέρα καθορίζουν επίσης το θερμικό φορτίο (Mack and Nadel, 1996). Παρά τις προσπάθειες των επιστημόνων να δημιουργήσουν ένα καθολικό, έγκυρο και αποδεκτό σύστημα για την μέτρηση του θερμικού στρες, καμία δεν ευδοκίμησε. Γενικά, όμως, ισχύει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το θερμικό φορτίο (εσωτερικό ή εξωτερικό), τόσο μεγαλύτερη είναι η εξάρτηση του οργανισμού στο μηχανισμό εξάτμισης προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία

πυρήνα, με αποτέλεσμα τόσο μεγαλύτερη να είναι η απώλεια υγρών (Nielsen, 1938). Σε καταστάσεις χωρίς πρόσβαση σε νερό, η διατήρηση του συνολικού όγκου νερού κάτω από θερμικό στρες είναι κρίσιμη για την επιβίωση. Σύμφωνα με μελέτες πεδίου, ο Brown και συνεργάτες (1947) προέβλεψαν ότι οι άνθρωποι μπορούν να επιζήσουν μόνο 7 ημέρες χωρίς νερό στην έρημο με θερμοκρασία περιβάλλοντος 90 F^o. Η ισορροπία νερού καθορίζεται κυρίως από το ρυθμό εξάτμισης νερού από το δέρμα (ή ρυθμό εφίδρωσης), το ρυθμό ενούρησης και τη διαθεσιμότητα νερού. Ο μέγιστος ρυθμός εφίδρωσης σε συνθήκες υψηλής ξηρής θερμοκρασίας μπορεί να φθάσει τα 1.5-2 kg/h (Sawka and Pandolf, 1990; Sharipo et al., 1981; Gosselin, 1947), ενώ κάποιες άλλες μελέτες έχουν αναφέρει ρυθμούς που κυμαίνονται από 3 έως 4 kg/h κατά την άσκηση μικρής διάρκειας, αλλά υψηλής έντασης (Armstrong et al., 1986; Bass et al., 1956). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός εφίδρωσης μπορεί διαφέρει σημαντικά και από σημείο σε σημείο της επιφάνειας του σώματος (Sato et al., 1989; Kuno, 1956). Επίσης, στους ανθρώπους, το αναπνευστικό σύστημα συνεισφέρει μια επιπλέον απώλεια νερού ίση με 0.12 kg/h κατά τη διάρκεια υψηλής έντασης άσκησης (Mitchell et al., 1972). Έτσι, ο άντρας 70 κιλών θα μπορούσε να χάσει 2.5% του σωματικού νερού την ώρα κατά τη διάρκεια βαριάς άσκησης σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, με το μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας νερού να προέρχεται από την εφίδρωση. Σε κάθε σημείο της επιφάνειας του δέρματος, ο ρυθμός εφίδρωσης επηρεάζει τη συγκέντρωση νατρίου στον εκκρινόμενο ιδρώτα (Sato et al., 1989; Kuno, 1956). Επομένως, η εκτίμηση τη συνολικής απώλειας ηλεκτρολυτών από τον ιδρώτα, πολλαπλασιάζοντας τη συνολική απώλεια ιδρώτα με τη συγκέντρωση νατρίου σε ορισμένα σημεία παραγωγής ιδρώτα στο δέρμα, μπορεί να μην αντανακλά πάντα την πραγματικότητα (Lemon et al., 1986). Υποθέτοντας ότι η μέση συγκέντρωση

νατρίου στον ιδρώτα είναι 35 mEq/l (Sawka and Montain, 2000; Sato et al., 1989; Nose et al., 1988c; Lemon et al., 1986; Kuno, 1956; Robinson S. and Robinson A. H., 1954), τότε ο άντρας 70 κιλών θα μπορούσε εύκολα να χάσει γύρω στα 96 mEq/l νάτριο ή 3.3% του γρήγορα ανταλλάξιμου νατρίου την ώρα (Mack and Nadel, 1996).

Όπως περιγράφηκε και νωρίτερα, η διατήρηση της ισορροπίας υγρών σε θερμικό στρες εξαρτάται και από τους νεφρούς. Ο Lee (1964) ανέφερε ότι η αποβολή ούρων ενός άντρα που κάθεται στους 21 ^{o}C είναι 15-30 ml/h, ενώ στους 90 ^{o}C μειώνεται σε 8-14 ml/h. Γενικά, η αποβολή ούρων ανέρχεται γύρω στα 1500 ml την ημέρα, ενώ μετά από 7 μέρες στην έρημο κυμαίνεται από 500 έως 950ml την ημέρα (Bass and Henschel, 1956; Adolph, 1947). Η απέκκριση ούρων μειώνεται εκθετικά με τη μείωση του βάρους κατά τη διάρκεια αφυδάτωσης (διάγραμμα 5). Η κατακράτηση, όμως νερού μέσω νεφρικών μηχανισμών δεν είναι πλήρης, μιας και πρέπει να αποβληθούν τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού (Mack and Nadel, 1996). Ωστόσο, κάτω από χρόνιο θερμικό στρες, η ισορροπία υγρών στον οργανισμό εξαρτάται από την παροχή νερού και τον βαθμό επανυδάτωσης. Σε έκθεση στην έρημο, οι καθημερινές ανάγκες σε νερό διακυμαίνονται ανάλογα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας (Brown, 1947; Rothstein et al., 1947). Παρ' όλα αυτά, μετά από μείωση στο συνολικό σωματικό νερό, οι άνθρωποι παρουσιάζουν τέτοια καθυστέρηση επανυδάτωσης που κάποιος βαθμός αφυδάτωσης εξακολουθεί να υπάρχει μετά από επαναλαμβανόμενες περιόδους θερμικού στρες, παρά την ελεύθερη πρόσβαση σε νερό. Αυτό το φαινόμενο καλείται στη βιβλιογραφία «ακούσια» αφυδάτωση, ενώ η εσκεμμένη είναι το αντίθετο της ακούσιας (Williams, 2003; Nose et al., 1988a; Nose et al., 1988b; Nose et al., 1985; Greenleaf et al., 1965; Rothstein et al., 1947). Ο Dill και οι συνεργάτες (1969) ανέφεραν

ότι η πρόσληψη νερού κατά το βάδισμα διάρκειας 5 ωρών στην έρημο είναι λίγο μικρότερη από τη συνολική απώλεια νερού λόγω εξάτμισης, αλλά είναι επαρκής για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας σώματος χωρίς την ύπαρξη υπερβολικής υπερθερμίας. Το ίδιο επιβεβαίωσε και ο Sanders και συνεργάτες (1999) για τους αθλητές αντοχής. Αυτή η ακούσια αφυδάτωση εξαφανίζονταν με τη κατανάλωση φαγητού (Maughan et al., 1996; Dill et al., 1969). Αντίστοιχα, ο Brown απέδειξε ότι η μέση ημερήσια απώλεια νερού 91 αντρών κατά τη διάρκεια της μικρής παραμονής τους στην έρημο, ήταν 5.02 λίτρα (ιδρώτας = 4.09 λίτρα και ούρα = 0.93 λίτρα) και ήταν ακριβώς ίση με την πρόσληψη νερού (5.03 λίτρα). Αυτό σημαίνει ότι, γενικά, οι άνθρωποι είναι ικανοί να διατηρήσουν το συνολικό σωματικό νερό σε περιόδους υψηλής θερμοκρασίας με την προϋπόθεση ότι έχουν ελεύθερη πρόσβαση σε νερό και τρόφιμα.

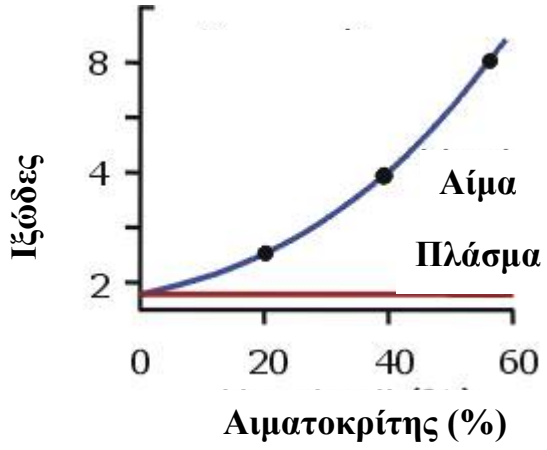


Διάγραμμα 5. *Επίδραση της αφυδάτωσης στο ρυθμό παραγωγής ούρων υπό συνθήκες θερμικού στρες. Lee, 1964.*

Αιμοδιάλυση και Αιμοσυγκέντρωση

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, κατά τη διάρκεια του θερμικού στρες, πριν προλάβει ακόμα να γίνει κάποια μείωση στο συνολικό σωματικό νερό, πραγματοποιείται μετακίνηση νερού ανάμεσα στο εσωκυττάριο και εξωκυττάριο υγρό. Πολυάριθμες είναι οι μελέτες που καταγράφουν αλλαγές στον ενδαγγειακό όγκο κατά τη διάρκεια θερμικού στρες, οι οποίες όμως δεν συμφωνούν μεταξύ τους (Horowitz et al., 1988; Harrison, 1985; Harrison et al., 1983; Van Beaumont et al., 1981; Myhre et al., 1977; Costill et al., 1976; Harrison and Edwards, 1976; Harrison et al., 1975; Costill et al., 1974; Harrison, 1974; Senay et al., 1965; Bass and Henschel, 1956; Adolph, 1947; Bazett et al., 1940; Lee et al., 1935; Barbour et al., 1925; Barbour et al., 1924; Hamilton et al., 1924). Ο Harrison (1985) θεώρησε ότι η ασυμφωνία μεταξύ των παραπάνω μελετών οφείλονταν στα πειραματικά πρωτόκολλα και τις μεθοδολογικές διαδικασίες που ακολούθησε η κάθε μία.. Ο Harrison θεώρησε η απάντηση σε ένα ελάχιστο επίπεδο θερμικού στρες είναι η αιμοσυγκέντρωση. Αιμοσυγκέντρωση ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία το αίμα χαρακτηρίζεται από μεγάλη συγκέντρωση ερυθροκυττάρων, δηλαδή υψηλού αιματοκρίτη. Το παραπάνω ελάχιστο επίπεδο θερμικού στρες βρίσκεται ακριβώς επάνω από τη ζώνη «φυσιολογικής ρύθμισης της θερμοκρασίας» ή όπως αλλιώς χαρακτήρισε ο Lind (1963), «όψιμη ζώνη». Κάτω από την όψιμη ζώνη, κύρια απάντηση στο θερμικό στρες είναι η «αιμοδιάλυση» (Bailey et al., 1972; Hamilton and Schwartz, 1935; Barbour et al., 1925; Barbour et al., 1924). Αιμοδιάλυση είναι η κατάσταση κατά την οποία το αίμα γίνεται λιγότερο παχύρευστο (ιξώδες), εξαιτίας της προσθήκης σε αυτό υγρού ελεύθερο κυττάρων. Το ιξώδες ή εσωτερική τριβή αυξάνει καθώς αυξάνεται το ποσοστό κυττάρων στο αίμα (Klabunde, 2005). Το ιξώδες του πλάσματος είναι 1.8

φορές μεγαλύτερο από αυτό του νερού σε θερμοκρασία 37 ^{o}C και εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες (Klabunde, 2005). Όλο το αίμα έχει τιμή ιξώδους 3-4 ανάλογα με την τιμή του αιματοκρίτη, τη θερμοκρασία και τη ροή του αίματος. Ο αιματοκρίτης αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα του ιξώδους αίματος. Καθώς αυξάνει ο αιματοκρίτης, υπάρχει μια δυσανάλογη αύξηση του ιξώδους (διάγραμμα 6). Για παράδειγμα, όταν ο αιματοκρίτης είναι 40%, η σχετική τιμή ιξώδους είναι 4, ενώ όταν είναι 60%, τότε αυτή γίνεται περίπου 8. Επομένως, όταν ο αιματοκρίτης αυξηθεί κατά 50%, το ιξώδες αυξάνει κατά 100%. Τέτοιες αλλαγές του αιματοκρίτη συμβαίνουν σε ασθενείς με πολυκυθαιμία. Και η θερμοκρασία επηρεάζει το ιξώδες αίματος. Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται, το ιξώδες αίματος αυξάνεται, πιο συγκεκριμένα αυξάνει 2% για κάθε βαθμό μείωσης της θερμοκρασίας (Klabunde, 2005).



Διάγραμμα 6. Σχέση ιξώδους αίματος και αιματοκρίτη (Klabunde, 2005).

Παρόλο που η παραπάνω ανάλυση βοήθησε κάπως στο να διαφοροποιηθούν οι προηγούμενες μελέτες, δεν κατάφερε να αποσαφηνίσει τις διαφωνίες στην βιβλιογραφία. Για παράδειγμα ο Glickman και οι συνεργάτες (1941), κατέγραψαν μεγάλη διακύμανση

στην απόκριση του ενδαγγειακού όγκου μετά από 2 ώρες παθητικού θερμικού στρες. Αιμοδιάλυση συνέβη στο 25% των εθελοντών, ενώ αιμοσυγκέντρωση στο 17%. Στους υπόλοιπους εθελοντές δεν υπήρξε καμία αλλαγή στον όγκο πλάσματος. Πολλοί παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να γίνει ακριβής μέτρηση της μετακίνησης υγρών ανάμεσα στον εσωκυττάριο και εξωκυττάριο όγκο. Η παράβλεψη κάποιου από αυτούς τους παράγοντες ίσως να είναι η αιτία της ασυμφωνίας των παραπάνω μελετών. Βέβαια, πολύ σημαντικός παράγοντας είναι τα σφάλματα μέτρησης που οφείλονται στη μη κατάλληλη διαχείριση των δειγμάτων αίματος (Sawka and Pandolf, 1990; Harrison, 1985; Senay, 1979). Η συγκέντρωση του νερού αλλάζει αμέσως μετά την αλλαγή θέσης σώματος, εξαιτίας των δυνάμεων του Starling (Waterfield, 1931). Επομένως, όταν εξετάζεται η μετακίνηση νερού ανάμεσα στα σωματικά διαμερίσματα υγρών, η θέση του σώματος πρέπει να παραμένει η ίδια τουλάχιστον 60 min πριν ληφθεί το δείγμα ελέγχου, καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Ο Senay και Christensen (Senay and Christensen, 1968;1965) έδειξαν ότι κατά τις 2.5 πρώτες ώρες οξείας έκθεσης σε θερμικό στρες (43.3 ^{o}C) σε άτομα που βρίσκονται σε ύπτια θέση, συμβαίνει αιμοδιάλυση. Πιο συγκεκριμένα, παρατήρησαν μετακίνηση ενός ισοτονικού, υπογκωτικού υγρού που ήταν ελεύθερο κυττάρων, από το εξωκυττάριο υγρό στον ενδαγγειακό χώρο, γεγονός το οποίο επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα προηγούμενων ερευνών (Adolph, 1947; Glickman et al., 1941; Lee and Mulder, 1935; Barbour et al., 1925; Barbour et al., 1924). Καθώς διατηρούνταν η έκθεση στο θερμικό στρες και τα άτομα άρχιζαν σιγά σιγά να αφυδατώνονται άρχιζε να δημιουργείται αιμοσυγκέντρωση (Senay and Christensen, 1965). Παρατήρησαν, όμως, ότι όταν τα άτομα κατάφεραν να διατηρήσουν το συνολικό σωματικό νερό προσλαμβάνοντας 0.1% ορό, η αιμοδιάλυση

εξακολουθούσε να συμβαίνει για χρονικό διάστημα 12 ωρών κατά την έκθεση σε θερμικό στρες. Σε αντίθεση με αυτά τα αποτελέσματα, ο Diaz και οι συνεργάτες (1979) έδειξαν ότι άτομα που βρίσκονταν σε ύπτια θέση απέκτησαν μια μικρή μείωση (2%) στον όγκο πλάσματος μέσα σε διάρκεια 45 min έκθεσης σε θερμικό στρες, ενώ στα άτομα που στέκονταν όρθια, η μείωση ήταν μεγάλη (17%). Αυτές οι παρατηρήσεις υποδεικνύουν ότι η απάντηση σε οξύ θερμικό στρες εξαρτάται εν μέρει από τη θέση σώματος, με την αιμοδιάλυση να αποτελεί το κυρίαρχο φαινόμενο όταν τα άτομα βρίσκονται σε ύπτια θέση και την αιμοσυγκέντρωση, όταν είναι όρθια. Βέβαια, η μικρή αιμοσυγκέντρωση που παρατήρησε ο Diaz ίσως να οφείλονταν στο γεγονός ότι τα πόδια των εθελοντών βρίσκονταν χαμηλότερα από το επίπεδο της καρδιάς με αποτέλεσμα να υπήρχε μια μικρή διαφορά υδροστατικής πίεσης.

Παρομοίως, μελέτες που έγιναν πάνω σε ζώα έδειξαν ότι η έκθεση στη ζέστη αυξάνει τον όγκο αίματος στο σκύλο (Morimoto et al., 1984; Miki et al., 1983) και τον αρουραίο (Horowitz et al., 1988). Αυτή η μετακίνηση νερού στον ενδαγγειακό χώρο βρέθηκε ότι οφείλονταν σε μείωση της ενδαγγειακής υδροστατικής πίεσης, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την αυξημένη επαναπορρόφηση υγρών (Horowitz et al., 1988). Η αλλαγή στον όγκο πλάσματος κατά τη διάρκεια θερμικού στρες μπορεί κάλλιστα να εξηγηθεί από τις αλλαγές που συμβαίνουν στην κυκλοφορία των αγγείων του δέρματος. Για παράδειγμα, όταν η θερμοκρασία του δέρματος, αυξάνεται από 33 σε 38 ^{o}C, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη γρήγορη (μέσα σε λίγα min) αύξηση της ροής του αίματος στο δέρμα, του όγκου παλμού και επομένως, του όγκου αίματος (Harrison et al., 1983). Οι υποδόριες φλέβες θεωρούνται ότι είναι πολύ ευαίσθητες σε αλλαγές της θερμοκρασίας δέρματος (Tripathi et al., 1984; Rowell et al., 1971; Webb-Peploe and Shepherd, 1968).

Ο Tripathi και συνεργάτες (1984) έδειξαν ότι όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος αυξάνεται από 28 στους 37 ^{o}C, αυξάνεται λίγο, αλλά στατιστικά σημαντικά και η φλεβική χωρητικότητα στα άνω άκρα. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι οι φλέβες του δέρματος είναι υπεύθυνες για τις αλλαγές που συμβαίνουν, όταν οι συνθήκες περιβάλλοντος δεν είναι εύκρατες (Alexander, 1963). Πιο συγκεκριμένα, αυξημένη θερμοκρασία δέρματος οδηγεί σε φλεβοδιαστολή και μείωση της τριχοειδικής πίεσης, γεγονός το οποίο επιτρέπει την καθαρή επαναπορρόφηση νερού στα δερματικά τριχοειδή με αποτέλεσμα την αιμοδιάλυση (Landis and Gibbon, 1933). Ωστόσο, η αυξημένη αιματική ροή δέρματος (δερματική αρτηριοδιαστολή) αυξάνει την τριχοειδική πίεση, οδηγώντας σε αιμοσυγκέντρωση (Saltin, 1964; Starling, 1896; Starling, 1894). Σε νορμοθερμικά άτομα, η ροή αίματος στο δέρμα αυξάνει αναλογικά με τη θερμοκρασία δέρματος ($0.7 ml \cdot min^{-1} \cdot 100 ml^{-1}$ για κάθε βαθμό ^{o}C αύξησης), αλλά αυτό συμβαίνει μόνο όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 32-34 ^{o}C (Wenger et al., 1986; Aschoff and Wever, 1957; Brown et al., 1953). Μικρές αλλαγές στη θερμοκρασία δέρματος κοντά στις εύκρατες συνθήκες προκαλούν μεγαλύτερη φλεβοδιαστολή από ότι αρτηριοδιαστολή με αποτέλεσμα την αιμοδιάλυση. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φλεβο- και αρτηριοπροσαρμογών ίσως να αποτελούν την εξήγηση για τις παρατηρήσεις του Harrison και συνεργατών (Harrison, 1985), ότι δηλαδή, η απάντηση του ενδαγγειακού όγκου σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο θερμικού στρες καθορίζεται από τη θερμική κατάσταση του ατόμου (θερμοκρασία δέρματος και πυρήνα) πριν ακριβώς γίνει έκθεση στο θερμικό στρες. Θερμαίνοντας ένα άτομο με χαμηλή θερμοκρασία δέρματος, προάγεται η αιμοδιάλυση, ενώ θερμαίνοντας άτομα με μεγαλύτερη θερμοκρασία δέρματος, συμβαίνει αιμοσυγκέντρωση. Γενικά, η αλληλεπίδραση μεταξύ της φλεβο- και

αρτηριοδιαστολής τροποποιεί τις κλίσεις της υδροστατικής πίεσης και επηρεάζει με αυτό τον τρόπο τη κατεύθυνση και το μέγεθος τη μετακίνησης νερού μεταξύ της δερματικής κυκλοφορίας αίματος και του δερματικού διακυττάριου χώρου κατά το θερμικό στρες.

Αγγειακή ενδοτικότητα και θερμικό στρες

Όπως περιγράφηκε στην αρχή της παρούσας μελέτης, η κατανομή υγρών μεταξύ του ενδαγγειακού και διακυττάριου χώρου οφείλεται στην μετακίνηση νερού μέσω των αγγειακών τριχοειδών και της λεμφικής επαναφοράς. Η μετακίνηση αυτή του νερού με τη σειρά της οφείλεται στην υδροστατική και την κολλοειδοωσμωτική πίεση. Η επιρροή του θερμικού στρες στην αγγειακή και διακυττάρια ενδοτικότητα δεν έχει αποσαφηνιστεί και επομένως, η σημασία τους στην μετακίνηση νερού μεταξύ των δύο διαμερισμάτων κατά το θερμικό στρες δεν έχει ακόμη κατανοηθεί. Αγγειακή ενδοτικότητα ονομάζεται η ικανότητα των αγγείων να συσπαθούν και να διασταλούν παθητικά ως απόκριση σε αλλαγές της πίεσης (Klabunde, 2005). Η ομοιότητα μεταξύ της αγγειακής (5.7 $ml \cdot mmHg^{-1} \cdot kg^{-1}$ σωματικού βάρους) και διακυττάριας ενδοτικότητας (4-5 $ml \cdot mmHg^{-1} \cdot kg^{-1}$ σωματικού βάρους) υποδεικνύει ότι η σχέση μεταξύ των αλλαγών που συμβαίνουν στο πλάσμα και το διακυττάριο υγρό κατά την αύξηση ή μείωση του όγκου αίματος είναι ένα-προς-ένα (Gauer et al., 1970; Guyton, 1965). Έρευνες σε ζώα έχουν δείξει ότι η συνολική αγγειακή ενδοτικότητα νορμοθερμικών σκύλων είναι ίση με τη διακυττάρια (Morimoto, 1990; 1981). Άλλες μελέτες όμως, δείχνουν ότι στο δέρμα και τους μύες του σκύλου, η διακυττάρια ενδοτικότητα είναι λίγο μεγαλύτερη από την αγγειακή [(8-14% αυξημένη ανά mmHg) (Wigg and Reed, 1987)], γεγονός που ίσως να σημαίνει ότι οι αλλαγές που συμβαίνουν στο διακυττάριο υγρό είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του

ενδαγγειακού χώρου. Από ότι φαίνεται δηλαδή, η διακυττάρια ενδοτικότητα είναι εκείνη που επηρεάζει την διακυττάρια πίεση, προκειμένου να εξουδετερωθούν και να εξισορροπηθούν οι μετακινήσεις υγρών μεταξύ του ενδο- και εξω-αγγειακού χώρου [«υδροστατική ρύθμιση» (Aukland, 1989)]. Η ρύθμιση της υδροστατικής πίεσης φαίνεται να αποτελεί ένα ικανοποιητικό μέσο αντιστάθμισης των αλλαγών στο διακυττάριο υγρό σε καταστάσεις ενυδάτωσης και αφυδάτωσης, αλλά όχι υπερυδάτωσης.

Ο Morimoto και συνεργάτες (Morimoto et al., 1984) ανέφεραν ότι η αγγειακή ενδοτικότητα υπερθερμικών σκύλων που υπεβλήθησαν σε αναισθησία, μειώθηκε κατά την έκθεση τους στη ζέστη. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε υπερθερμικούς αρουραίους που είχαν όμως, τις αισθήσεις τους (Horowitz et al., 1988). Επιπρόσθετα, κατά την πρόσληψη αλατούχου διαλύματος, μεγαλύτερο ποσοστό υγρού κατακρατήθηκε στον ενδαγγειακό όγκο κατά την υπερθερμία από ότι στην νορμοθερμία (Horowitz et al., 1988; Morimoto et al., 1984; Miki et al., 1983). Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στη μείωση της δύναμης εκείνης που κατευθύνει τη μετακίνηση υγρών έξω από τον αγγειακό χώρο, εξαιτίας της μικρότερης κλίσης στην υδροστατική πίεση (μικρότερη αρτηριακή πίεση) κατά την υπερθερμία σε σχέση με την νορμοθερμία (Miki et al., 1983). Αλλαγή στην ικανότητα απορρόφησης νερού από τα τριχοειδή θα μπορούσε να αποτελεί επίσης, αιτία υψηλότερης κατακράτησης υγρών στον ενδαγγειακό χώρο. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η αγγειακή ενδοτικότητα μπορεί να παίζει σπουδαίο ρόλο στις προσαρμογές του όγκου αίματος κατά το θερμικό στρες (Mack and Nadel, 1996). Κατά τη διάρκεια το θερμικού στρες η ανακατανομή της ροής αίματος από τα σπλαχνικά όργανα προς το δέρμα, ίσως να συνεισφέρει στη μείωση της συνολικής αγγειακής ενδοτικότητας (Mack and Nadel, 1996).

Θερμικό στρες και πρωτεΐνες

Ήδη αναφέρθηκε ότι μέρος της ωσμωτικής πίεσης οφείλεται στην παρουσία πρωτεϊνών στον ενδαγγειακό χώρο. Κατά τη διάρκεια του θερμικού στρες, μια αλλαγή στις δυνάμεις του Starling εξαιτίας των αλλαγών που συμβαίνουν στον φλεβο- και αρτηριοκινητικό τόνο του δέρματος, μπορούν να επηρεάσουν τη μετακίνηση πρωτεϊνών μέσα ή έξω από τον αγγειακό χώρο (Lanne and Lundwall, 1989; Miki et al., 1984). Η ενδαγγειακή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες έχει αναφερθεί ότι μειώνεται ή δεν αλλάζει καθόλου κατά τη διάρκεια έκθεσης σε θερμικό στρες (Harrison et al., 1983; Rocker et al., 1982; Costill and Fink, 1974; Costill and Sparks, 1973; Myhre et al., 1982; Myhre and Robinson, 1977). Ο Harrison (1985) ανέφερε ότι η μείωση των ενδαγγειακών πρωτεϊνών έχει άμεση σχέση με την αιμοσυγκέντρωση κατά τη διάρκεια του θερμικού στρες (Senay, 1975; Senay, 1972; Senay, 1970; Senay and Christensen, 1965), ενώ η αύξηση αυτών με την αιμοδιάλυση (Senay, 1975; Senay, 1970; Senay, 1973). Παρ' όλα αυτά, δεν συμφώνησαν όλες οι μελέτες με αυτήν την εκδοχή (van Beaumont et al., 1981; Myhre and Robinson, 1977; Costill and Fink, 1974; van Beaumont et al., 1974). Ο Senay υποστήριξε ότι η μετακίνηση των πρωτεϊνών κατά το θερμικό στρες καθορίζεται από την αναλογία της αιματικής ροής προς τους σκελετικούς μυς και το δέρμα, καθώς και από τη λεμφική ροή, (1979; 1978; 1975; 1972), ενώ ο Harrison (1982; 1981; 1976; 1975) πίστευε ότι οι υποδόριες αλλαγές στη διακυττάρια πίεση κατά τη μεταφορά υγρών από τον ενδο- προς το εξω-αγγειακό χώρο είναι υπεύθυνες για τη μεταφορά των πρωτεϊνών στην κυκλοφορία μέσω της λέμφου. Ο Morimoto και συνεργάτες (Morimoto et al., 1979) χορήγησαν σε ανθρώπους σημασμένη αλβουμίνη υποδόρια και έλεγξαν τον ρυθμό εξαφάνισης της αλβουμίνης κάτω από συνθήκες άσκησης ή τοπικής θέρμανσης. Τα

αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η άσκηση προκαλεί αύξηση του ρυθμού εξαφάνισης της αλβουμίνης, ενώ η τοπική θέρμανση δεν άλλαξε καθόλου το ρυθμό. Αντίθετα, ο Olsewski και συνεργάτες (1977) έδειξαν ότι η λεμφική ροή και η εξαγωγή πρωτεϊνών αυξήθηκαν κατά 117% και 104%, αντίστοιχα μετά από τοπική θέρμανση.

Παράγοντες που επηρεάζουν την επανυδάτωση μετά από άσκηση στη ζέστη

Πολλοί παράγοντες που σχετίζονται με την κατάσταση των ατόμων, όπως φυσική κατάσταση, κατάσταση υδάτωσης και ο βαθμός του θερμοεγκλιματισμού μπορούν να επηρεάσουν την κατεύθυνση και το μέγεθος της μετακίνησης υγρών (Mack and Nadel, 1996) κατά το θερμικό στρες. Πέρα από την μείωση της καρδιακής συχνότητας και την αύξηση του ρυθμού εφίδρωσης, η προπόνηση και ο θερμοεγκλιματισμός αυξάνουν τον όγκο πλάσματος (Convertino et al., 1980), καθώς και τον εξωκυττάριο όγκο σε κατάσταση ανάπαυσης (Bass and Henschel, 1956; Bazett et al., 1940). Ο Senay (1975) βρήκε πως στα μη θερμοεγκλιματιζόμενα άτομα η απώλεια στον όγκο πλάσματος είναι κοντά στο 1.2, ενώ στα θερμοεγκλιματιζόμενα άτομα σε κατάσταση ανάπαυσης στη ζέστη (12 ώρες, 45 ^{o}C) γύρω στο 1.6. Ο Senay (1975) ανέφερε ότι η μετακίνηση των πρωτεϊνών, και επομένως η έξοδος του νερού έξω από το ενδαγγειακό χώρο κατά το θερμικό στρες, μειώνεται μετά από θερμοεγκλιματισμό (1976; 1975; 1972). Όπως περιγράφει ο Williams (2003) κατά τον θερμοεγκλιματισμό συμβαίνουν τα εξής:

1. ο όγκος πλάσματος αυξάνει έτσι ώστε να αυξηθεί ο συνολικός όγκος αίματος,
2. ο αυξημένος όγκος αίματος οδηγεί σε αύξηση του όγκου παλμού,
3. η ροή αίματος προς το δέρμα αυξάνει.

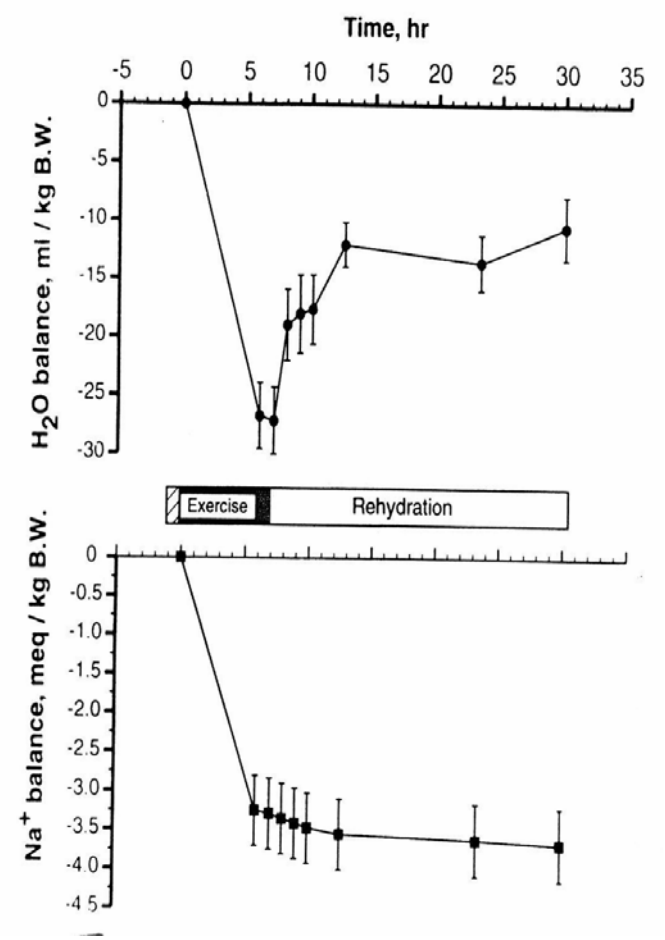
4. η συγκέντρωση νατρίου και χλωρίου στον ιδρώτα μειώνεται έως και 60%, γεγονός που μειώνει την απώλεια ηλεκτρολυτών και τέλος,

5. η εφίδρωση ξεκινά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες πυρήνα, ενώ μειώνεται και η χρησιμοποίηση μυϊκού γλυκογόνου, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Με ποιο τρόπο όμως, συμβαίνουν οι παραπάνω αλλαγές δεν είναι ακόμα γνωστό.

Έλεγχος της ισορροπίας σωματικών υγρών κατά την αφυδάτωση

Υπό συνθήκες θερμικού στρες, νερό και ηλεκτρολύτες αποβάλλονται στο περιβάλλον μέσω του δέρματος και της αναπνευστικής οδού, γεγονότα που οδηγούν σε κυττάρια και εξωκυττάρια αφυδάτωση (Mack and Nadel, 1996). Επειδή ο εξωκυττάριος όγκος εξαρτάται άμεσα από τη συγκέντρωση νατρίου, ο ρόλος των νεφρών ως απάντηση στην αφυδάτωση είναι να αποθηκεύσει νάτριο και με αυτό τον τρόπο να διατηρήσει τον εξωκυττάριο όγκο. Αν ένα άτομο δεν αναπληρώνει την απώλεια νατρίου κατά την αφυδάτωση, η ισορροπία υγρών δεν θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί [διάγραμμα 7, (Takamata et al., 1994)]. Επιπλέον, οι αλλαγές στην τονικότητα του πλάσματος κατά την αφυδάτωση εξαρτώνται από τις αλλαγές στη συγκέντρωση νατρίου, η οποία με τη σειρά της καθορίζεται από την ικανότητα των νεφρών να επαναπορροφήσει νερό (Mack and Nadel, 1996). Η υποογκοαιμία και η υπερωσμωτικότητα μειώνουν το ρυθμό εξάτμισης του νερού τόσο στα ζώα, όσο και στους ανθρώπους (Fortney at al., 1988; 1984; 1981).



Διάγραμμα 7. *Το διάγραμμα δείχνει ότι τα άτομα δεν μπορούν να αποθηκεύσουν νερό μετά από άσκηση σε θερμικό στρες. Κατά την επανυδάτωση καταναλώθηκαν απιονισμένο νερό ad libitum και 2 γεύματα ελεύθερα νατρίου. Παρά το συνεχές αίσθημα δίψας, δεν επιτεύχθηκε ισορροπία υγρών στα άτομα με μείωση της συγκέντρωσης νατρίου πλάσματος. Takamata et al., 1994.*

Λειτουργία νεφρών

Ο Adolph (1947) παρατήρησε ότι η 24ωρη παραγωγή ούρων από άντρες που ζούσαν στην έρημο με ελεύθερη πρόσβαση σε νερό ήταν περίπου 935 ml, ποσότητα αρκετά μικρότερη από αυτή που καταγράφηκε όταν οι άντρες ζούσαν σε εύκρατες συνθήκες (1500 ml). Παρά τη μείωση στην παραγωγή ούρων κατά την έκθεση στη ζέστη, ο Adolph (1947) παρατήρησε ότι η παραγωγή ούρων ήταν ανάλογη με την πρόσληψη νερού. Σε μετέπειτα μελέτες οι οποίες περιόρισαν την κατανάλωση νερού, η μείωση στην παραγωγή ούρων ήταν ανάλογη της μείωσης του συνολικού σωματικού νερού (1964). Επιπρόσθετα, άλλοι ερευνητές ανέφεραν ότι η διουρητική απάντηση στην

πρόσληψη νερού εμποδίζεται κατά τη διάρκεια του θερμικού στρες (MacFarlane and Robinson, 1957). Μεγάλη κατακράτηση του προσλαμβανόμενου νερού κατά τη διάρκεια του θερμικού στρες, συνέβη σε εκείνα τα άτομα τα οποία κατάφεραν να διατηρήσουν το σωματικό τους βάρος, μέσω της πρόσληψης νερού ίσης με την νεφρική απώλεια (MacFarlane and Robinson, 1957; Kenny and Miller, 1949). Αυτές οι παρατηρήσεις σημαίνουν ότι α) η διατήρηση του νερού από τους νεφρούς είναι αυξημένη κατά το θερμικο στρες προτού συμβεί οποιαδήποτε μείωση στο συνολικό σωματικό νερό και β) μείωση στην παραγωγή ούρων συμβαίνει παρά μόνο μετά από σχετικά μικρές μειώσεις στο συνολικό σωματικό νερό (1947).

Η μείωση της παραγωγής ούρων κατά το θερμικό στρες αντανακλά εν μέρει, την επίδραση της μειωμένης νεφρικής αιματικής ροής και του ρυθμού σπειραματικής διήθησης (GFR) στην ισορροπία των σωματικών υγρών. Ο Radigan και Robinson (1949) έδειξαν ότι ο ρυθμός σπειραματικής διήθησης σε κατάσταση ανάπαυσης και η νεφρική ροή αίματος είναι 108 ml/min και 695 ml/min, αντίστοιχα στους 21 ^{o}C, ενώ στους 42 ^{o}C είναι 84 ml/min και 426 ml/min, αντίστοιχα. Επομένως, το θερμικό στρες χωρίς την πρόκληση αφυδάτωσης, μπορεί να μειώσει το ρυθμό σπειραματικής διήθησης κατά 25%. Αν το θερμικό στρες παραταθεί έτσι ώστε να προκληθεί αφυδάτωση, τότε ο παραπάνω ρυθμός μειώνεται επιπλέον κατά 20-25% (Smith et al., 1952). Αυτές οι προσαρμογές στη λειτουργία των νεφρών συνεισφέρουν στην μείωση της παραγωγής των ούρων και τη διατήρηση της συγκέντρωσης νατρίου σε άτομα εκτεθειμένα σε θερμικό στρες. Η επίδραση του θερμικού στρες ή της αφυδάτωσης στη νεφρική ρύθμιση του νατρίου και νερού οφείλεται σε αλλαγές στο σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης και στη νεφρική συμπαθητική δραστηριότητα.

Ορμονικός έλεγχος της νεφρικής λειτουργίας

Αντιδιουρητική Ορμόνη (βασοπρεσσίνη ή AVP)

Πρώτες μελέτες των Hellman και Weiner (1953), καθώς και του Itoth (1954) έδειξαν ότι η δράση της αντιδιουρητικής ορμόνης αυξάνεται κατά την άσκηση στη ζέση, γεγονός που οδήγησε μετέπειτα ερευνητές να επιβεβαιώσουν ότι κατά την διάρκεια του θερμικού στρες αυξάνεται η απελευθέρωση της παραπάνω νευροϋποφυσιακής ορμόνης (Convertino et al., 1980; Collins and Weiner, 1968; MacFarlane and Robinson, 1957; Hellman and Weiner, 1953). Κατά την αφυδάτωση, η αυξημένη ωσμωτικότητα πλάσματος μπορεί να ανιχνευτεί από ειδικά κύτταρα, τα λεγόμενα ωσμοϋποδοχειακά κύτταρα, τα οποία είναι ευαίσθητα σε αλλαγές της ωσμωτικής πίεσης του εξωκυττάριου όγκου και ως απάντηση στην υψηλή ωσμωτικότητα πλάσματος, απελευθερώνουν την αντιδιουρητική ορμόνη. Αυτά τα κύτταρα βρίσκονται στο κεντρικό νευρικό σύστημα, αλλά και περιφερειακά, πιθανόν στην πυλαία φλέβα του ήπατος (Robertshaw, 1989). Κατά την αφυδάτωση, η παράλληλη αύξηση της ωσμωτικότητας και η μείωση του όγκου πλάσματος, ενεργοποιούν την έκκριση της παραπάνω ορμόνης (Mack and Nadel, 1996). Η συγκέντρωση της βασοπρεσσίνης στο πλάσμα αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της ωσμωτικότητας πλάσματος, εφόσον η ωσμωτική πίεση έχει ξεπεράσει ένα ελάχιστο όριο. Κατά την έγχυση υπερτονικού ορού, αυτό το ελάχιστο όριο είναι 280-285 mOsm/kg νερού (Baylis, 1987). Το ελάχιστο επίπεδο ωσμωτικότητας πλάσματος που οδηγεί σε αύξηση της έκκρισης της αντιδιουρητικής ορμόνης, εξαρτάται από το μέγεθος του ενδαγγειακού διαμερίσματος. Ωστόσο, οι ερευνητές δεν είναι ακόμη σε θέση να γνωρίζουν επακριβώς την τιμή του παραπάνω κατωφλιού. Γνωρίζουν, όμως, ότι η μέγιστη συγκέντρωση ούρων πραγματοποιείται σε ωσμωτικότητα ίση με 290 mOsm/kg.

Γύρω στο 50% των αλλαγών της ωσμωτικότητας ούρων συμβαίνει πριν ακόμα ανιχνευτούν αλλαγές στη αντιδιουρητική ορμόνη στο πλάσμα. Έγχυση της ορμόνης αυτής ώστε να αυξηθούν τα επίπεδα της στο πλάσμα κατά 0.2 και 0.8 pg/dl βρέθηκε ότι αύξησε την ωσμωτικότητα ούρων σε ενυδατωμένους ανθρώπους από 63 σε 621 και 850 mOsm/kg νερού, αντίστοιχα. Αυτές οι παρατηρήσεις οδήγησαν τον Andersen και συνεργάτες (1990) να συμπεράνουν ότι οι νεφροί είναι τόσο ευαίσθητοι έστω και στις παραμικρές αλλαγές της συγκέντρωσης της νευροϋποφυσιακής ορμόνης στο πλάσμα, που δεν μπορούν ανιχνευτούν. Πολλοί άλλοι παράγοντες πέρα από την αυξημένη ωσμωτικότητα ούρων, συνεισφέρουν στην απελευθέρωση της βασοπρεσσίνης. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται, η αυξημένη θερμοκρασία πυρήνα, η περιφερική ενεργοποίηση των νεύρων και τα αυξημένα επίπεδα αγγειοτενσίνης ΙΙ πλάσματος (Mack and Nadel, 1996). Μετά από αφυδάτωση, η ωσμωτικότητα των ούρων έχει βρεθεί ότι είναι 1000-1400 mOsm/kg νερού, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που προκαλείται από μεγάλες δόσεις χορήγησης νευροϋποφυσιακής ορμόνης (Andersen et al., 1990). Επομένως, η μέγιστη ικανότητα των νεφρών να αυξήσουν την ωσμωτικότητα ούρων δεν εξαρτάται μόνο από τα επίπεδα της αντιδιουρητικής ορμόνης.

Σύστημα Ρενίνης-Αγγειοτενσίνης-Αλδοστερόνης

Η παραγωγή της αλδοστερόνης από τους νεφρούς είναι αυξημένη κατά τη διάρκεια θερμικού στρες στους ανθρώπους (Hellaman et al., 1956; Collins et al., 1955). Ωστόσο, το μέγεθος αύξησης της έχει βρεθεί ότι σχετίζεται περισσότερο με το βαθμό απώλειας άλατος από ότι με το επίπεδο θερμικού στρες. Η έκκριση της αλδοστερόνης από τον φλοιό των επινεφριδίων ελέγχεται άμεσα από τις αλλαγές που συμβαίνουν στη

συγκέντρωση νατρίου ή καλίου και έμμεσα από από τις αλλαγές στα επίπεδα της αγγειοτενσίνης ΙΙ και της αδρενοκορτικοτροπικής ορμόνης στο πλάσμα. Τα επίπεδα της αγγειοτενσίνης ΙΙ στο αίμα καθορίζονται σε μεγάλο μέρος, από το ρυθμό απελευθέρωσης της ρενίνης από τα παρασπειραματικά κύτταρα (Vander et al., 2001). Έχει βρεθεί, όμως, ότι η έκκριση της αλδοστερόνης διεγείρεται και από την αυξημένη νεφρική συμπαθητική δραστηριότητα (Share and Claybaugh, 1972).

Οξεία έκθεση σε θερμικό στρες αυξάνει την δράση της ρενίνης πλάσματος και πιθανόν της αγγειοτενσίνης ΙΙ, γεγονός που συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης της αλδοστερόνης στο πλάσμα, με αποτέλεσμα τη μείωση απέκκρισης νατρίου και νερού από τα ούρα (Escourrou et al., 1982). Στους ανθρώπους το σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης είναι αρκετά ευαίσθητο στον έλεγχο απέκκρισης νατρίου. Μικρές αλλαγές στα επίπεδα ρενίνης πλάσματος επιδρούν σημαντικά στη συγκέντρωση νατρίου στα ούρα, καθώς και στην έκκριση αλδοστερόνης (Laragh et al., 1960). Ωστόσο, το σύστημα αυτό είναι αρκετά αργό και για αυτό το λόγο δεν μπορεί να εξηγήσει τις γρήγορες μεταβολές που συμβαίνουν στο νεφρικό έλεγχο του νατρίου.

Κατά το θερμικό στρες, αυξημένα επίπεδα αγγειοτενσίνης ΙΙ αυξάνουν την αντίσταση των νεφρικών αρτηριδίων, προκαλώντας αύξηση συστολής τους (Eiseman and Rowell, 1977). Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι χορήγηση ανταγωνιστή της αγγειοτενσίνης ΙΙ έχει βρεθεί ότι μειώνει τη συστολή των νεφρικών αρτηριδίων που οφείλεται στο θερμικό στρες (Eiseman and Rowell, 1977). Στους ανθρώπους, η νεφρική αρτηριοσυστολή και η απελευθέρωση ρενίνης ως συνέπεια του θερμικού στρες αναστέλλονται μετά από αποκλεισμό των β-αδρενεργικών υποδοχέων με προπανολόλη (Eiseman and Rowell, 1977), κυρίως εξαιτίας της αναστολής της απελευθέρωσης της

ρενίνης από το νεφρικό συμπαθητικό σύστημα. Έχει βρεθεί ότι κατά το θερμικό στρες, η αύξηση δράσης του νεφρικού συμπαθητικού συστήματος μειώνει τη νεφρική αιματική ροή, τόσο άμεσα, όσο και έμμεσα διαμέσου της απελευθέρωσης ρενίνης από τους νεφρούς, με αποτέλεσμα να αυξάνει την αγγειοτενσίνη ΙΙ προάγοντας αγγειοσυστολή (Blantz et al., 1976).

Οι λόγοι αυξημένης νεφρικής συμπαθητικής δραστηριότητας κατά το θερμικό στρες στους ανθρώπους δεν είναι ακόμα γνωστοί. Πιο πιθανόν, η κεντρική υποογκοαιμία προάγει την ανακατανομή του όγκου αίματος προς το δέρμα, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση καρδιακής πλήρωσης (και ίσως η αρτηριακή πίεση) και με αυτόν τον τρόπο να αποδιεγείρονται οι καρδιοαναπνευστικοί (και αρτηριακοί) υποδοχείς και έτσι να αυξάνεται η δράση του νεφρικού συμπαθητικού συστήματος (Mack and Nadel, 1996). Ο Nose και συνεργάτες (1988a) έδειξε ότι υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ των αλλαγών στον όγκο πλάσματος και τα επίπεδα ρενίνης σε αυτό μετά από 2.3% μείωσης του σωματικού βάρους λόγω θερμικής αφυδάτωσης και μετά από τρίωρη επανυδάτωση με νερό ή αλατούχο διάλυμα (0.45%).

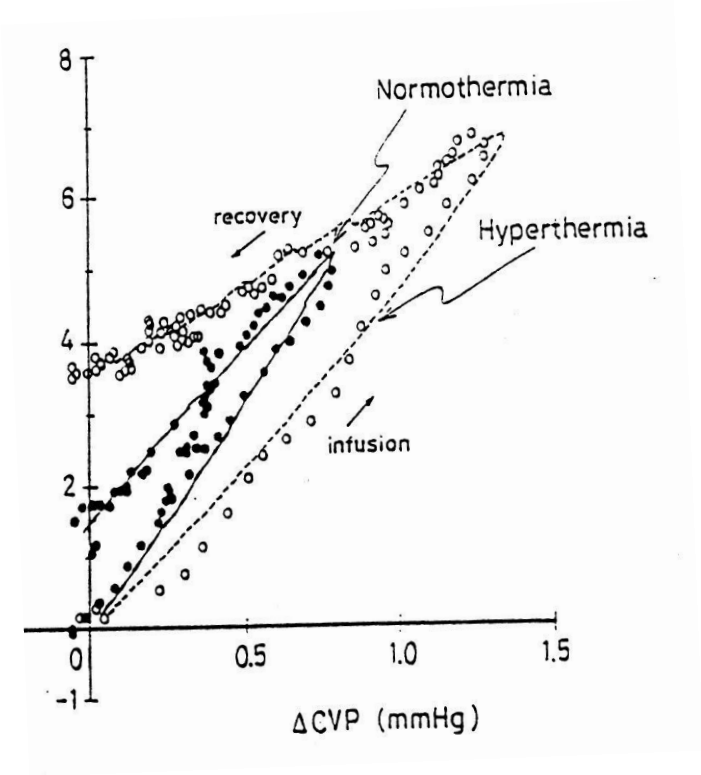
Συμπερασματικά, το σύστημα ρενίνης-αγγειοτενσίνης-αλδοστερόνης επηρεάζει την ισορροπία των σωματικών υγρών κατά το θερμικό στρες, μέσω της επίδρασης της αγγειοτενσίνης ΙΙ στην αλδοστερόνη και στην έκκριση της αντιδιουρητικής ορμόνης (Vander et al., 2001).

Κεντρική φλεβική πίεση και θερμικό στρες

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η πιο σημαντική απάντηση στο θερμικό στρες είναι η αύξηση της αιματικής ροής προς στο δέρμα. Έχει πλέον επιβεβαιωθεί ότι η δερματική αγγειοδιαστολή ως αποτέλεσμα του θερμικού στρες, οφείλεται στη μείωση της κεντρικής φλεβικής πίεσης. Γενικά, η σημασία της κεντρικής φλεβικής πίεσης έγκειται στη διατήρηση της καρδιακής παροχής (Morimoto, 1990). Παρόλο που ο ρόλος της στις διάφορες καρδιαγγειακές προσαρμογές λόγω θερμικού στρες έχει συζητηθεί πολύ, οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί δεν έχουν γίνει ακόμα σαφείς. Η κεντρική φλεβική πίεση επιδρά σημαντικά στη ρύθμιση της ισορροπίας των σωματικών υγρών, εφόσον έχει δειχθεί ότι αλλάζει την έκκριση της αντιδιουρητικής ορμόνης και του κολπικού νατριουρητικού πεπτιδίου, ενώ φαίνεται να επηρεάζει το αίσθημα της δίψας, καθώς και το επίπεδο της νεφρικής συμπαθητικής δραστηριότητας (Morimoto, 1990).

Ο όγκος αίματος που βρίσκεται στον ενδαγγειακό χώρο αποτελείται, τόσο από τον συμπιεσμένο, όσο και από τον ασυμπίεστο (Morimoto, 1990). Επιπλέον, έχει βρεθεί η φλεβική ενδοτικότητα είναι 30 φορές μεγαλύτερη από την αρτηριακή και περίπου το 70% του κυκλοφορούμενου αίματος βρίσκεται στα φλεβικά διαμερίσματα. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η κεντρική φλεβική πίεση, υπό συνθήκες σταθερής καρδιακής παροχής, καθορίζεται κυρίως από αλλαγές στον συμπιεσμένο όγκο αίματος, στον ασυμπίεστο και στην φλεβική ενδοτικότητα. Το διάγραμμα 8 (Miki et al., 1983) δείχνει τη σχέση μεταξύ του όγκου αίματος και της κεντρικής φλεβικής πίεσης κατά τη διάρκεια έγχυσης διαλύματος Ringer και κατά την αποκατάσταση, σε συνθήκες υπερθερμίας και νορμοθερμίας. Αμέσως μετά από την έγχυση του διαλύματος, η κατακράτηση του νερού στο αίμα ήταν 70% κατά την υπερθερμία και 54% κατά την νορμοθερμία, ενώ 50 min

αργότερα η κατακράτηση στην τελευταία περίπτωση ήταν μόλις 13%, ενώ στην πρώτη 40%. Κατά τη διάρκεια έγχυσης του διαλύματος η κεντρική φλεβική πίεση αυξήθηκε, ενώ κατά την αποκατάσταση μειώθηκε στα προ έγχυσης επίπεδα. Ωστόσο, ο όγκος αίματος μετά από 50 min ανάπαυσης δεν επανήλθε στα αρχικά επίπεδα, που σημαίνει ότι το επιπλέον νερό διατηρήθηκε στον ενδαγγειακό χώρο ως μη συμπιεσμένος όγκος. Αυτός ο μη συμπιεσμένος όγκος αίματος βρέθηκε μεγαλύτερος στην υπερθερμία από ότι στην νορμοθερμία, κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και για τη ροή όγκου δέρματος. Η αγγειακή ενδοτικότητα, εκτιμώμενη από τις αλλαγές στον όγκο αίματος και τη κεντρική φλεβική πίεση βρέθηκε μικρότερη στην υπερθερμία από ότι στη νορμοθερμία (Morimoto et al., 1984). Αυτό ίσως να οφείλεται στην ανακατανομή της ροής αίματος από τα σπλάχνα προς το δέρμα. Επιπλέον, βρέθηκε ότι σε σκύλους εκτεθειμένους σε θερμικό στρες η αγγειοαντίσταση μειώθηκε όταν η θερμοκρασία σώματος αυξήθηκε στους 40 ^{o}C, ενώ πάνω από αυτούς η αγγειοαντίσταση αυξήθηκε (Kregel et al., 1988). Η σχέση μεταξύ κεντρικής φλεβικής πίεσης και αγγειοαντίστασης είναι αρνητική και σχεδόν γραμμική πάνω από τους 40 ^{o}C (Morimoto, 1990). Αυτό σημαίνει ότι σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία σώματος η αγγειοδιαστολή μειώνεται προκειμένου να διατηρηθεί η κεντρική φλεβική πίεση και η καρδιακή παροχή (Takamata et al., 1990).



Διάγραμμα 8. *Σχέση μεταξύ των αλλαγών της κεντρικής φλεβικής πίεσης (ΔCVP) και του όγκου αίματος (ΔBV) κατά την υπερθερμία και νορμοθερμία, μετά από έγχυση διαλύματος Ringer. Miki et al., 1983.*

Συμπερασματικά, κατά τη διάρκεια έκθεσης σε θερμικό στρες ο αυξημένος ρυθμός εφίδρωσης προκαλεί αφυδάτωση, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται υποογκοαιμία και υπερωσμωτικότητα πλάσματος (Senay, 1998). Και οι δύο αυτές καταστάσεις εμποδίζουν την απελευθέρωση της θερμότητας μέσω εξάτμισης του ιδρώτα και οδηγούν αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα. Πέρα από τη θερμοκρασία πυρήνα, αυξάνεται και η καρδιακή συχνότητα, ενώ ο όγκος παλμού και η καρδιακή παροχή μειώνονται (Brooks et al., 2005; Williams, 2003; Mitchell et al., 2000; Barr et al., 1992). Η υπερωσμωτικότητα λόγω αφυδάτωσης προωθεί τη μετακίνηση υγρών από το ενδοκυττάριο περιβάλλον προς το εξωκυττάριο, ενώ αυξάνει και το αίσθημα της δίψας προκειμένου να αγωνιστεί ενάντια στη μείωση του όγκου αίματος. Η ανακατανομή της ροής αίματος από τα σπλάχνα προς το δέρμα, καθώς και οι παραπάνω αλλαγές στον όγκο όγκο παλμού και την καρδιακή παροχή, προκαλούν μείωση της κεντρικής φλεβικής

πίεσης (Morimoto, 1990). Την ίδια στιγμή, η μείωση της πίεσης αυτής αυξάνει το αίσθημα για πρόσληψη υγρών, ενώ παράλληλα αυξάνει την συνολική περιφερική αντίσταση και την αγγειακή ενδοτικότητα. Όλες αυτές οι αλλαγές δρουν συνεργιστικά προκειμενου να διατηρηθεί η καρδιακή παροχή και η αρτηριακή πίεση (Morimoto, 1990).

Αναπλήρωση των υγρών κατά τη θερμική αφυδάτωση

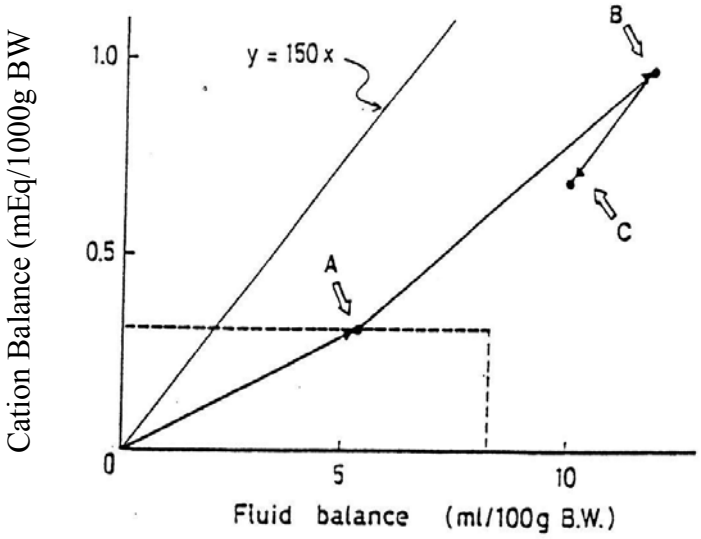
Είναι πλέον επιβεβαιωμένο πως η αποκατάσταση της ισορροπίας υγρών-ηλεκτρολυτών μετά από θερμική αφυδάτωση στους ανθρώπους, πραγματοποιείται με αργούς ρυθμούς (Greenleaf, 1982). Η αναπλήρωση υγρών κατά την άσκηση εξαρτάται από την απορροφητική ικανότητα των αθλητών. Έχε δειχθεί ότι δρομείς και ποδηλάτες δεν μπορούν να καταναλώσουν πάνω από 800 ml/h (Hosey and Glazer, 2004). Η απορροφητική ικανότητα από το λεπτό έντερο δεν είναι γνωστή, ωστόσο εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 360-400 ml/h (Buddington and Diamond, 1989). Αυτός ο ρυθμός συσχετίστηκε με την εθελοντική επανυδάτωση στους αθλητές αντοχής. Επίσης, άγνωστος είναι και ο κατάλληλος ρυθμός κατανάλωσης υγρών κατά την άσκηση. Ο Kovacs και συνεργάτες (2002) έδειξαν πως υψηλοί ρυθμοί πρόσληψης υγρών μετά την άσκηση είναι πιο αποτελεσματικοί στην αναπλήρωση του όγκου πλάσματος από ότι οι χαμηλοί, παρά την μεγάλη παραγωγή ούρων στην πρώτη περίπτωση. Η αφυδάτωση φαίνεται να επηρεάζει και την απόδοση. Μέτρια αφυδάτωση (έως 2% του σωματικού βάρους) έχει δειχθεί ότι μειώνει τη μέγιστη ποδηλατική ικανότητα (Wash et al., 1994), αλλά αυτό φαίνεται να συμβαίνει μόνο μετά από συγκεκριμένη διάρκεια άσκησης. Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι η πρόσληψη υγρών κατά την άσκηση διάρκειας μίας

ώρας ή λιγότερο δεν επηρεάζει την απόδοση σε ήπιες συνθήκες περιβάλλοντος (Bahle et al., 2001; McConell et al, 1999). Αντίθετα, διαφορά στην απόδοση έχει παρατηρηθεί μόνο μετά από 2 ώρες άσκησης (McConell et al., 1997). Η αναπλήρωση των υγρών την ίδια στιγμή που χάνονται από το σώμα ίσως να μην είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος. Οι περισσότερες κλινικές μελέτες συνιστούν μέτρια κατανάλωση υγρών κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την άσκηση. Σε αυτή την περίπτωση όλοι οι αθλητές αφυδατώνονται μετά από πολλές ώρες άσκησης (Noakes et al.,1988), αλλά η απώλεια σωματικού βάρους έως 8% δεν έχει δείξει ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία (Noakes, 1995). Έρευνες έχουν δείξει πως η κατανάλωση υγρών κατά την άσκηση πρέπει να είναι γύρω 150-200% της απώλειας του σωματικού βάρους (Schirreffs et al., 1997). Με την κατάλληλη, όμως, διατροφή και την πρόσληψη αλατούχου διαλύματος τα επίπεδα υδάτωσης επανέρχονται μέσα σε 12-24 ώρες. Πρόσληψη υγρών 2 ώρες πριν την έναρξη άσκησης είναι απαραίτητη προκειμένου να απεκκριθεί το πλεόνασμα υγρών από τα ούρα. Η εθελοντική, παρά η προγραμματισμένη πρόσληψη υγρών κατά την άσκηση φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματική. Μετά την άσκηση, οι αθλητές πρέπει να επανέλθουν στα προ της άσκησης επίπεδα (Hosey and Glazer, 2004).

Όσον αφορά σε καταστάσεις άσκησης υπό θερμικός στρες, η επανυδάτωση σε έχει μελετηθεί πολύ σε αρουραίους διότι αυτοί παρουσιάζουν θερμική αφυδάτωση παρόμοια με αυτή των ανθρώπων, αλλά με τη διαφορά ότι χάνουν νερό και νάτριο μέσω της σιέλου. Όταν σε θερμικά αφυδατωμένους αρουραίους χορηγήθηκε μόνο νερό, η ισορροπία σωματικών υγρών σταθεροποιήθηκε σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο πριν ακόμα αναπληρωθούν τελείως οι απώλειες υγρών. Πλήρης επανυδάτωση επιτεύχθηκε μόνο όταν τους χορηγήθηκε διάλυμα 0.45 ή 0.9% χλωριούχου νατρίου (Nose et al., 1985). Πιο

συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ της πρόσληψης και αποβολής νερού από τα ούρα έδειξε πως με το διάλυμα χλωριούχου νατρίου, οι αρουραίοι ξαναπέκτησαν όλα τα υγρά που χάσανε λόγω της αφυδάτωσης μέσα σε 3-3.5 ώρες. Το μέγιστο κέρδος σε υγρά ήταν περίπου 150% για το διάλυμα 0.9% χλωριούχου νατρίου και 120% για το διάλυμα 0.45% μέσα σε 4-12 ώρες, ενώ οι αρουραίοι που κατανάλωσαν 0.2% διάλυμα χλωριούχου νατρίου επανυδατώθηκαν πλήρως μόνο μετά από 10ώρες. Οι αρουραίοι που κατανάλωσαν πόσιμο νερό και διάλυμα συγκέντρωσης χλωριούχου νατρίου 2% επανυδατώθηκαν κατά 78 και 59% μέσα σε 10 ώρες, αντίστοιχα (Okuno et al., 1988). Όταν στους αρουραίος δόθηκε το δικαίωμα επιλογής μεταξύ πόσιμου νερού και διαλύματος χλωριούχου νατρίου (0.9 ή 1.8%), αυτά προτίμησαν περισσότερο το πρώτο από ότι το δεύτερο κατά τις 2 πρώτες ώρες μετά από τη διάθεση των ποτών, ενώ μετά προτίμησαν το αλατούχο διάλυμα. Η μέση συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου που επέλεξαν κατά τις 2 πρώτες ώρες ήταν 55 mM, ενώ μετά από τις 2 ώρες η μέση συγκέντρωση αυξήθηκε στα 120 mM. Επιπρόσθετα, οι συγκεντρώσεις νατρίου στο προσλαμβανόμενο διάλυμα ήταν ίδιες για τους αρουραίους που κατανάλωσαν αλατούχο διάλυμα 0.9 ή 1.8%, ενώ η αλλαγή στη συγκέντρωση πρόσληψης νατρίου έγινε όταν η απώλεια σε κατιόντα έφθασε το 90%, με αποτέλεσμα να επανακτηθεί το 60% αυτών (Yamata et al., 1987). Το διάγραμμα 9 (Sugimoto, 1988) δείχνει ότι στα αρχικά στάδια επανυδάτωσης, οι αρουραίοι επέλεξαν να πιουν αραιωμένο αλατούχο διάλυμα, με αποτέλεσμα να μειώσουν την ωσμωτικότητα αίματος και ταυτόχρονα, να αναπληρώσουν την απώλεια κατιόντων (φάση 0-A). Αμέσως μετά ο όγκος αίματος αυξήθηκε και οι αρουραίοι προτίμησαν να καταναλώσουν ισοτονικό αλατούχο διάλυμα (φάση A-B), με αποτέλεσμα να επιτευχθεί ομοιόσταση του εξωκυττάριου όγκου μέσω των νεφρών (φάση

B-C). Αλλαγές στην κεντρική φλεβική πίεση φαίνεται να αλλάζουν τη συμπεριφορά απέναντι στην κατανάλωση υγρών και άλατος σε αρουραίους (Toth et al., 1987; Kaufman, 1984). Το φαινόμενο της υπερυδάτωσης που παρατηρήθηκε στις δύο αυτές μελέτες δείχνουν πως η ρύθμιση της ωσμωτικότητας προηγείται αυτή της ρύθμισης όγκου πλάσματος. Πιο συγκεκριμένα, η ακούσια αφυδάτωση ή μείωση στην κατανάλωση υγρών μετά την θερμική αφυδάτωση οφείλεται στη μείωση του αισθήματος της δίψας και της διούρησης, εξαιτίας της μείωσης της ωσμωτικότητας πλάσματος όταν χορηγείται σκέτο νερό.



Διάγραμμα 9. *Ισορροπία υγρών-ηλεκτρολυτών σε αρουραίους με επιλογή πρόσληψης πόσιμου νερού και αλατούχου διαλύματος μετά από θερμική αφυδάτωση. Morimoto et al., 1987.*

Σύμφωνα με τις παραπάνω μελέτες, προκύπτει εύλογα το ερώτημα: Ποιά η επίδραση της επανυδάτωσης στους ανθρώπους και ποιό είναι το κατάλληλο αθλητικό ποτό αναπλήρωσης των σωματικών υγρών μετά από αφυδάτωση; Στη δεκαετία του ’80, οι ερευνητές έδειξαν πως ο βαθμός της ακούσιας αφυδάτωσης μειώνεται όταν

προσλαμβάνεται διάλυμα που περιέχει γλυκόζη και ηλεκτρολύτες (Morimoto et al., 1981) ή 0.45% αλάτι (Nose et al., 1988b), κατά τη διάρκεια ή μετά από θερμική αφυδάτωση. Στη δεκαετία του 90, ο Barr και οι συνεργάτες (1991) μελέτησαν την αναπλήρωση νατρίου κατά τη διάρκεια άσκησης 6 περίπου ωρών, με 3 μεθόδους: α) με πρόσληψη νερού β) με πρόσληψη αλατούχου διαλύματος (25 mmol.l-l) και γ) χωρίς κατανάλωση υγρών. Στην έρευνα στην οποία συμμετείχαν 8 εθελοντές (5 άντρες και 3 γυναίκες), η άσκηση περιλάμβανε ποδηλασία διάρκειας 6 ωρών σε κυκλοεργόμετρο, υπό συνθήκες 30 ^{o}C στο 55% του VO_{2max}. Στην δοκιμή χωρίς την πρόσληψη υγρών, η καρδιακή συχνότητα, η θερμοκρασία πρωκτού, η αλδοστερόνη πλάσματος και το νάτριο πλάσματος ήταν πολύ μεγαλύτερα από τις άλλες δύο δοκιμές ($P < 0.001$), ενώ ο όγκος πλάσματος ήταν μικρότερος ($P < 0.001$). Κατά μέσο όρο, οι εθελοντές τερμάτισαν την άσκηση 1.5 ώρες πριν την προγραμματισμένη έχοντας χάσει 6.4% του σωματικού τους βάρους. Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στην αναπλήρωση υγρών μεταξύ των δοκιμών με το σκέτο νερό και το αλατούχο διάλυμα. Επιπλέον, η συγκέντρωση νατρίου πλάσματος μειώθηκε σημαντικά τόσο στην δοκιμή με το νερό (σε 135 ± 0.5 mmol.l-l), όσο και στη δοκιμή με το αλατούχο διάλυμα (137 ± 0.7 mmol.l-l). Κανένας εθελοντής όμως, δεν σταμάτησε την άσκηση βάσει της συγκέντρωσης νατρίου πλάσματος (≤ 130 mmol.l-l). Σε άλλη έρευνα, ο Maughan και Leiper (1995), μελέτησαν την επίδραση διάφορων συγκεντρώσεων νατρίου στην επανυδάτωση. Για το σκοπό αυτό, 6 υγιείς άντρες αφυδατώθηκαν κατά 1.9% του σωματικού τους βάρους μετά από διαλειμματική άσκηση στους 32 ^{o}C και σε σχετική υγρασία 54%. Και σε αυτή την έρευνα οι εθελοντές πραγματοποίησαν 4 δόκιμες με απόσταση μίας εβδομάδας η μία από την άλλη, με τη διαφορά όμως ότι κατανάλωναν πρωινό 3 ώρες πριν την έναρξη της άσκησης. Για 30 min

ξεκινώντας 30 min μετά από την έναρξη της άσκησης, οι εθελοντές κατανάλωναν ένα από τα διαθέσιμα ποτά σε ποσότητα ίση με 1.5 φορές την απώλεια βάρους τους. Η συγκέντρωση νατρίου στα ποτά A, B, C και D ήταν 2, 26, 52 και 100 mmol.l-l, αντίστοιχα. Στο τέλος των δοκιμών A και B τα άτομα βρίσκονταν σε αρνητικό ισοζύγιο υγρών [-689 ± 124 ml και -359 ± 87 ml, αντίστοιχα), ενώ στο τέλος των C και D ήταν σχεδόν ενυδατωμένοι (-2 ± 79 ml και +98 ± 67 ml, αντίστοιχα). Επιπλέον, βρέθηκε αντίστροφη σχέση μεταξύ του όγκου ούρων και της περιεκτικότητάς τους σε νάτριο. Η συγκέντρωση νατρίου στα ούρα ήταν στατιστικά σημαντικώς μεγαλύτερη στην τελευταία δοκιμή από ότι στις άλλες τρεις μετά από 5.5 ώρες. Στο τέλος όλων των δοκιμών, ο όγκος πλάσματος ήταν μικρότερος σε σχέση με τα πριν της άσκησης επίπεδα. Ωστόσο, μισή ώρα μετά την περιόδο επανυδάτωσης ο όγκος πλάσματος στις δοκιμές B, C και D βρέθηκε στατιστικά μεγαλύτερος από ότι πριν την άσκηση. Στη δοκιμή A, ο όγκος πλάσματος βρέθηκε σημαντικά μεγαλύτερος από ότι πριν την άσκηση μόνο μετά από 3.5 και 5.5 ώρες μετά από την περίοδο επανυδάτωσης,. Στη 1.5 ώρα μετά από την περίοδο επανυδάτωσης, η αύξηση στον όγκο πλάσματος στις δοκιμές C και D ήταν μεγαλύτερος σε σχέση με τη δοκιμή A. Όλα αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το ποσοστό του προσλαμβανόμεου υγρού που κατακρατάται από τον οργανισμό σχετίζεται με την συγκέντρωση του υγρού σε νάτριο. Οι ίδιοι ερευνητές το 1996 έδειξαν αν υπάρχει διαφορά στο αποτέλεσμα της επανυδάτωσης μεταξύ της κατανάλωσης μόνο ποτού και ποτού με φαγητό μαζί. Οι εθελοντές (n = 8) αφυδατώθηκαν κατά 2.1% του σωματικού τους βάρους μέσω διαλειμματικής άσκησης σε κυκλοεργόμετρο, στους 34 ^{o}C με σχετική υγρασία 55%. Για 60 min, ξεκινώντας 30 min μετά το τέλος δοκιμής, τα άτομα των δοκιμών A και B κατανάλωναν το διάθεσιμο αθλητικό ποτό (21 mmol.l-l νάτριο, 3.4

mmol.l-l κάλιο και 12 mmol.l-l χλώριο), ενώ τα άτομα της δοκιμής C κατανάλωναν γεύμα (63 kJ.kg-l σωματικού βάρους, περιεκτικότητας 53% υδατάνθρακες, 28% λίπους και 19% πρωτεϊνών, καθώς και 0.118 mmol.kJ-l νάτριο και 0.061 mmol.kJ-l κάλιο), συν διάλυμα (1 mmol.l-l νάτριο, 0.4 mmol.l-l κάλιο και 1 mmol.l-l χλώριο). Η πρόσληψη υγρών ήταν 150% της απώλειας βάρους. Όλοι οι εθελοντές ήταν νηστικοί 24 ώρες πριν την άσκηση και κάθε δοκιμή γίνονταν με μεσοδιαστήματα 1 εβδομάδας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αφυδάτωση μείωσε τον όγκο πλάσματος κατά 5.2 ± 1.3%. Με εξαίρεση την ωσμωτικότητα ορού, η οποία ήταν μεγαλύτερη στην δοκιμή B από ότι στην A στο τέλος της περιόδου επανυδάτωσης, δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις δύο αυτές δοκιμές. Η παραγωγή ούρων ήταν μικρότερη ($P < 0.01$) κατά την αφυδάτωση στη δοκιμή C (665 ml, εύρος 396-1190 ml) σε σχέση με τη δοκιμή B (934 ml, εύρος 550-1403 ml), η οποία δεν διέφερε ($P = 0.44$) με τη δοκιμή A (954 ml, εύρος 474-1501 ml). Για 60 min 2 ώρες μετά από την περίοδο επανυδάτωσης, η παραγωγή ούρων ήταν μικρότερη στη δοκιμή C από στην B ($P = 0.01$). Στις δοκιμές A και B οι εθελοντές ήταν σε αρνητικό ισοζύγιο υγρών [337 (εύρος 779 μείων 306 ml) και 373 (εύρος 680 μείων 173 ml), αντίστοιχα]. Στη δοκιμή C, 6 ώρες μετά το τέλος της αποκατάστασης, το επίπεδο επανυδάτωσης των εθελοντών δεν διέφερε από το αρχικό, δηλαδή ήταν ίδιο με τα πριν της έναρξη της άσκησης επίπεδα ($P = 1.00$). Περισσότερο ποσοστό νερού κατακρατήθηκε στη δοκιμή C, ίσως εξαιτίας της μεγαλύτερης συγκέντρωσης νατρίου και καλίου στο προσλαμβανόμενο γεύμα (63 ± 4 mmol και 21.3 ± 1.3 mmol, αντίστοιχα) σε σχέση με το ποτό μόνο του (42 ± 2 mmol και 6.8 ± 0.4 mmol, αντίστοιχα). Δεν υπήρξαν διαφορές μεταξύ των δοκιμών B-C στις αιματικές παραμέτρους, ωστόσο η συγκέντρωση νατρίου και καλίου από τα ούρα ήταν μεγάλη και

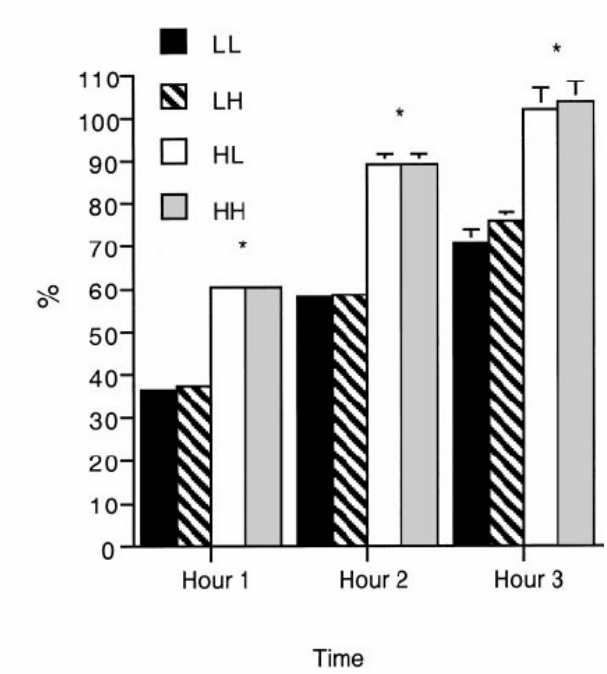
στις δύο δοκιμές. Όλα αυτά δείχνουν ότι η αναπλήρωση υγρών μπορεί να γίνει με ικανοποιητική πρόσληψη όγκου νερού μαζί με γεύμα, επαρκές σε ηλεκτρολύτες.

Αντίθετα ήταν τα αποτελέσματα των Mitchell και συνεργατών (2000) που μελέτησαν την αλληλεπίδραση μεταξύ του όγκου προσλαμβανόμενων υγρών και της συγκέντρωσης νατρίου, στην επανυδάτωση και στην αναπλήρωση υγρών στα διάφορα σωματικά διαμερίσματα. Το πειραματικό μέρος της έρευνας, στην οποία συμμετείχαν 10 ελαφρώς προπονημένοι άντρες, περιλάμβανε άσκηση σε κυκλοεργόμετρο έντασης 60% του VO_{2max} και διάρκειας 90 min, υπό συνθήκες 35 ^{o}C και σχετικής υγρασίας 55%, έως ότου επιτευχθεί αφυδάτωση κατά 2.9% του σωματικού βάρους. Στη συνέχεια ακολούθησε περιόδος επανυδάτωσης διάρκειας 180 min και τα άτομα ξαναασκήθηκαν για άλλα 20 min. Όλο αυτό πραγματοποιήθηκε 4 φορές (4 δοκιμές) με ενδιάμεση απόσταση μίας εβδομάδας. Τέσσερις τύποι επανυδάτωσης εξετάσθηκαν:

α) Χαμηλός όγκος υγρών (100% αναπλήρωση υγρών) - χαμηλή συγκέντρωση νατρίου (25 mM) – XX, β) Χαμηλός όγκος υγρών (100% αναπλήρωση υγρών) - υψηλή συκέντρωση νατρίου (50 mM) – XY, γ) Υψηλός όγκος υγρών (150% αναπλήρωση υγρών) - χαμηλή συγκέντρωση νατρίου (25 mM) – YX και δ) Υψηλός όγκος υγρών (150% αναπλήρωση υγρών) - υψηλή συγκέντρωση νατρίου (50 mM) – YY.

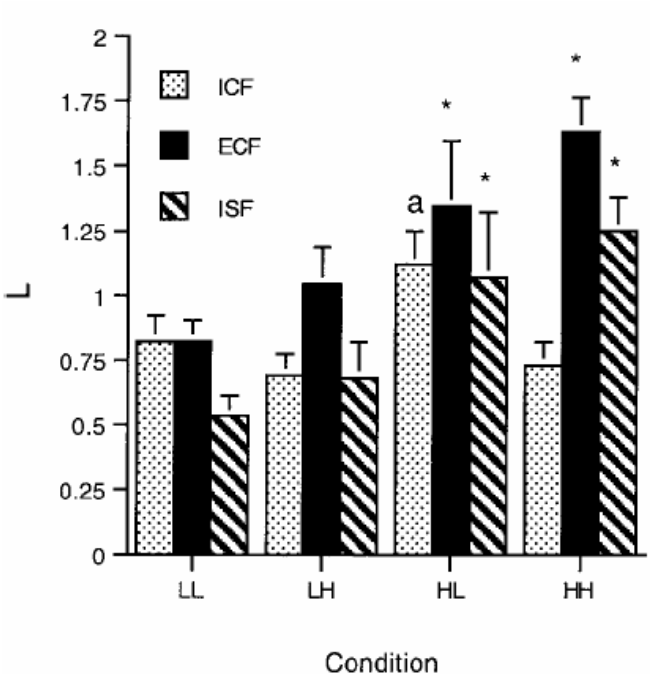
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επανυδάτωση ήταν μεγαλύτερη ($P<0.05$) στις δοκιμές YX και YY (102 ± 15.2 και 103.7 ± 14.7%, αντίστοιχα) από ότι στις XX και XY (70.7 ± 10.5 και 75.9 ± 6.3%, αντίστοιχα). Η ενδοκυττάρια επανυδάτωση βρέθηκε να είναι υψηλότερη στην YX (1.12 ± 0.4 λίτρα) από ότι σε όλες τις άλλες δοκιμές (0.83 ± 0.3; 0.69 ± 0.2 και 0.73 ± 0.3 λίτρα για XX, XH και YY δοκιμή, αντίστοιχα). Αντίθετα, η εξωκυττάρια επανυδάτωση βρέθηκε μεγαλύτερη στις YX και YY δοκιμές

(1.35 ± 0.8 και 1.63 ± 0.4 λίτρα, αντίστοιχα) από ότι στις XX και XY (0.83 ± 0,3 και 1.05 ± 0.4 λίτρα, αντίστοιχα). Η καρδιαγγειακή λειτουργία (καρδιακή συχνότητα, καρδιακή παροχή και όγκος παλμού) ήταν ίδια σε όλες τις δοκιμές. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι μεγαλύτερη επανυδάτωση επιτυγχάνεται όταν προσλαμβάνονται μεγάλοι όγκοι υγρών, ενώ ο βαθμός στον οποίο πραγματοποιείται η επανυδάτωση δεν φαίνεται να επηρεάζεται από τη συγκέντρωση νατρίου (διαγράμματα 10 και 11). Ωστόσο, υψηλή συγκέντρωση νατρίου ευνοεί την αναπλήρωση του εξωκυττάριου όγκου (όγκου πλάσματος), ενώ η αναπλήρωση του ενδοκυττάριου όγκου πραγματοποιείται σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις.



Διάγραμμα 10. *Επανυδάτωση ολόκληρου του σώματος για τα 4 διαλύματα (*P < 0.05).*

Mitchell et al., 2005



Διάγραμμα 11. *Αναπλήρωση υγρών στο εξωκυττάριο και διακύττάριο χώρο (*P < 0.05).*

Mitchell et al., 2005

Στην έρευνα των Mudambo και Reynolds (2001), όπου συμμετείχαν 18 στρατιώτες της Ζιμπάμπουε, πραγματοποιήθηκε άσκηση (περπάτημα ή ελαφρύ τρέξιμο) υπό συνθήκες 40.5 ^{o}C και 32% σχετικής υγρασίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως το συνολικό σωματικό νερό μειώθηκε κατά 4.9 ± 0.38 λίτρα στους στρατιώτες χωρίς πρόσληψη υγρών ($P < 0.02$), 1.5 ± 0.3 λίτρα στους στρατιώτες που προσλάμβαναν αθλητικό ποτό και 2.4 ± 0.8 λίτρα στους στρατιώτες που κατανάλωναν σκέτο νερό. Το νερό του εξωκυττάριου υγρού μειώθηκε κατά 3.6 ± 0.3 λίτρα ($P < 0.05$), 1.3 ± 0.2 λίτρα και 1.7 ± 0.2 λίτρα, αντίστοιχα. Παρομοίως, ο όγκος πλάσματος μειώθηκε κατά 16 ± 1.4 %, 3 ± 0.3 λίτρα και 5 ± 0.3 λίτρα, αντίστοιχα. Αντίθετα, η ωσμωτικότητα πλάσματος αυξήθηκε από 285 ± 1.00 σε 301 ± 2.3mOsm.kg-l ($P < 0.001$) στους στρατιώτες χωρίς την πρόσληψη υγρών και από 283 ± 2.00 σε 291 ± 0.7 mOsm.kg-l ($P < 0.02$) στους στρατιώτες που ήπιαν αθλητικό ποτό. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές αυξήσεις στην ωσμωτικότητα μετά από την κατανάλωση νερού. Όλα αυτά δείχνουν πως η αποτελεσματική επανυδάτωση εξαρτάται από την αναπλήρωση των χαμένων ηλεκτρολυτών, ενώ το σκέτο νερό δεν προκαλεί επαρκή επανυδάτωση. Άλλη έρευνα του ίδιου ερευνητή (1997) έδειξε πως η μείωση στο σωματικό βάρος μετά από άσκηση στη ζέστη ήταν μικρότερη όταν καταναλώνονταν διάλυμα δεξτρόζης/ηλεκτρολυτών ή διάλυμα φρουκτόζης/δημητριακών ή σκέτο νερό σε σχέση με όταν δεν προσλαμβάνονταν καθόλου υγρά (1.3 ± 0.2 kg, 1.6 ± 0.3 kg, 2.0 ± 0.1 kg και 4.9 ± 0.4 kg, αντίστοιχα). Η γλυκόζη αίματος μειώθηκε σημαντικά ($P < 0.001$) όταν δεν καταναλώθηκαν καθόλου υγρά, ενώ αυξήθηκε σε 8.4 ± 1.3 mmol.l-l ($P < 0.001$) και 6.8 ± 1.1 mmol.l-l ($P < 0.01$) μετά την πρόσληψη του διαλύματος δεξτρόζης/ηλεκτρολυτών και φρουκτόζης/δημητριακών, αντίστοιχα. Η παραγωγή ούρων

ήταν μεγαλύτερη με την κατανάλωση σκέτου νερού, ενώ τα άτομα αυτά δήλωσαν κόπωση και δεν συνέχισαν την άσκηση. Άρα, τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν πως η κόπωση στην άσκηση φαίνεται να οφείλεται στη μείωση του όγκου πλάσματος, αλλά και στη μείωση της συγκέντρωσης της γλυκόζης. Με άλλα λόγια, η πρόσληψη υγρών κατά την άσκηση μειώνει τόσο το αίσθημα κόπωσης, όσο και την αφυδάτωση. Αυτό φάνηκε να πραγματοποιείται καλύτερα από το διάλυμα δεξτρόζης/ηλεκτρολυτών. Παρομοίως, ο Carter και Gisolfi (1989) έδειξαν πως το διάλυμα γλυκόζης είναι πιο αποτελεσματικό στην επανυδάτωση από ότι το σκέτο νερό. Ο Sanders και συνεργάτες (1999) έδειξαν ότι οι αθλητές αντοχής σπάνια προσλαμβάνουν πάνω από 1.5 λίτρο υγρών την ώρα σε αγώνες. Ως αποτέλεσμα μειώνεται ο όγκος πλάσματος και αυξάνεται η συγκέντρωσή του σε νάτριο. Επίσης, ανέφεραν ότι όταν οι αθλητές αναπληρώνουν μόνο τη μισή ποσότητα των χαμένων υγρών, καλύτερα είναι να πιουν σκέτο νερό προκειμένου να διατηρήσουν την ωσμωτικότητα πλάσματος και τη θερμοκρασία πυρήνα, παρά να αναπληρώσουν την απώλεια σε αλάτι. Βρήκαν ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η πρόσληψη νερού κατά τη διάρκεια της άσκησης διατηρεί τη συγκέντρωση νατρίου πλάσματος, ενώ η πρόσληψη αλατούχου ποτού την αυξάνει. Το 1989, ο Nielsen και συνεργάτες σύγκριναν την επανυδάτωση μετά από άσκηση (υπομέγιστης και υπερμέγιστης έντασης) μεταξύ της κατανάλωσης σκέτου νερού (C) και διαλυμάτων υψηλής συγκέντρωσης σε νάτριο (N), κάλιο (K) και ζάχαρη (Z). Δύο ώρες από την περίοδο επανυδάτωσης, ο όγκος πλάσματος βρέθηκε στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερος στο διάλυμα N (+14%) και C (+9%) σε σχέση με τα άλλα δύο ποτά. Το διάλυμα N βρέθηκε ότι προκαλούσε την αναπλήρωση του εξωκυττάριου χώρου, ενώ τα διαλύματα K και Z του ενδοκυττάριου. Παρ' όλα αυτά, η αύξηση της καρδιακής

συχνότητας μετά το τέλος της υπομέγιστης έντασης άσκησης δεν διέφερε μεταξύ των τεσσάρων δοκιμών. Ο Nassis και συνεργάτες (1998) έδειξαν ότι η κατανάλωση νερού και διαλύματος που περιέχει συνδυασμό υδατανθράκων (6.9%) δεν διαφέρουν ως προς το χρόνο εκτέλεσης διαλειμματικής άσκησης (τρέξιμο). Πιο συγκεκριμένα, η πρόσληψη σκέτου νερού ή υδατανθράκων-ηλεκτρολυτών δεν καθυστέρησε την κόπωση κατά το διαλειμματικό τρέξιμο. Ακριβώς το ίδιο παρατήρησε και ο Tsintzas συνεργάτες το 1996 για διάλυμα 5.5 ή 6% υδατανθράκων-ηλεκτρολυτών. Οι παραπάνω ερευνητές ήρθαν σε διαφωνία με άλλους που υποστήριξαν ότι διάλυμα υδατανθράκων γύρω στο 5.5%-6% μαζί με ηλεκτρολύτες καθυστερούν την κόπωση και αυξάνουν την απόδοση (Serge et al., 2004). Μία από αυτές τις μελέτες ήταν του Tsintzas και συνεργατών (1995) οι οποίοι σε αντίθεση με τη μελέτη του 1998, βρήκαν ότι διάλυμα 5.5% γλυκόζης-ηλεκτρολυτών βελτιώνει την απόδοση στους μαραθωνοδρόμους σε σχέση με το νερό. Ο Montain και Coyle (1993) μελέτησαν την επίδραση υδατανθρακούχου ποτού κατά την άσκηση στη ζέστη (33 ^{o}C) σε 7 καλά προπονημένους ποδηλάτες. Η άσκηση διήρκησε 140 min και τα άτομα κατανάλωσαν 1173ml ποτού στα 40 και τα 80 min της άσκησης. Στο τέλος της άσκησης (140 min) η απώλεια σε ιδρώτα και σε συνολικό νερό ήταν 1.2 λίτρα και 2.9%, αντίστοιχα. Βρήκαν ότι η αύξηση στη θερμοκρασία πυρήνα και τη καρδιακή συχνότητα σχετίζονται άμεσα με το επίπεδο υδάτωσης. Αυτό το συμπέραναν από τον μειωμένο όγκο πλάσματος, την αυξημένη ωσμωτικότητα πλάσματος, αλλά και την αυξημένη συγκέντρωση νατρίου πλάσματος. Παρατήρησαν, ότι όταν οι ποδηλάτες ήπιαν το ποτό λίγο πριν την έναρξη της άσκησης, παρεμποδίστηκε η αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα και της καρδιακής συχνότητας έως ότου τα άτομα ξαναπιούν υγρό στα 40 και 80 min άσκησης, αλλά αυτό άλλαξε όταν η άσκηση έφθασε στο τέλος της. Συνεπώς, η

πρόσληψη υγρών αμέσως πριν την άσκηση δεν φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στη θερμοπροσαρμογή κατά την άσκηση. Πρέπει να αναφερθεί επίσης, ότι διάλυμα 7% υδατανθράκων έχει βρεθεί ότι προκαλεί γαστρεντερικές διαταραχές, ενώ διάλυμα μικρότερο των 2,5% έχει βρεθεί ότι έχει αρνητικές επιδράσεις στην απόδοση (Serge et al., 2004).

Είναι φανερό πως όλα τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών είναι διφορούμενα. Σε γενικά πλαίσια όμως, αποδεκτές θεωρούνται οι συστάσεις του Αμερικάνικου Κολεγίου Αθλιατρικής (2000) σε συνεργασία με τον Αμερικάνικο Σύλλογο Διαιτολόγων και του Καναδά:

1) Πέρα από την πρόσληψη αρκετής ποσότητας υγρών 24 ώρες πριν την έναρξη της άσκησης, 2-3 ώρες πριν πρέπει να λαμβάνονται 400-600 ml.

2) Από τη στιγμή έναρξης της άσκησης μέχρι και το τέλος, θα πρέπει να προσλαμβάνονται 150-350ml υγρών κάθε 15-20 min.

3) Όταν η άσκηση διαρκεί πάνω από 1 ώρα η συγκέντρωση των προσλαμβανόμενων υγρών σε νάτριο πρέπει να είναι 0.5-0.7 g/l (23-32 mmol/l), ενώ σε υδατάνθρακες 4-8%.

4) Μετά την άσκηση, πρόσληψη αλατούχου διαλύματος σε ποσότητα 150% της απώλειας του σωματικού βάρους συνίσταται.

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της πρόσληψης υγρών διαφορετικών συγκεντρώσεων νατρίου κατά τη διάρκεια παρατεταμένης φυσικής δραστηριότητας σε θερμό περιβάλλον, στη ρύθμιση του όγκου πλάσματος όταν η πρόσληψη υγρών ισούται με το ρυθμό εφίδρωσης.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν έως τώρα, η υπόθεση της έρευνας ήταν ότι η πρόσληψη υδατανθρακούχου διαλύματος υψηλής συγκέντρωσης σε νάτριο θα διατηρήσει καλύτερα τον όγκο πλάσματος και θα οδηγήσει σε καλύτερη καρδιαγγειακή απόκριση κατά την άσκηση.

Μεθοδολογία

Ανθρωπομετρικά Χαρακτηριστικά

Στην παρούσα έρευνα πήραν μέρος 13 νέοι υγιείς άνδρες με καλή φυσική κατάσταση, μη προπονημένοι (συμμετοχή σε διάφορες αθλητικές δραστηριότητες 3±2 φορές την εβδομάδα) και θερμοεκγλιματισμένοι. Τα ανθρωπομετρικά στοιχεία των εθελοντών φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί:

	Mean ± SD
Body Weight, kg	77.9 ± 10.4
Height, cm	177.8 ± 7.6
BMI, kg/m^2	24.5 ± 2.1
Age, yrs	24.5 ± 3.1
Body Fat, %	17.4 ± 5.4

Η πρώτη επίσκεψη στο εργαστήριο

Η πρώτη επίσκεψη περιλάμβανε τη μέτρηση της σύστασης σώματος με ακτίνες Χ διπλής ενέργειας (Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, DXA: Lunar Corp., model DPX, Madison, WI, software version 3.6). Η μέθοδος αυτή συνίσταται από τη σάρωση

ολόκληρης της επιφάνειας του σώματος πάνω από τα ρούχα, με ακτίνες X δύο διακριτών ενεργειακών επιπέδων, προκειμένου να μετρηθεί η απορρόφηση από το σώμα, η οποία αντιστοιχίζεται σε σωματικό λίπος και άλιπη μυϊκή και σκελετική μάζα σώματος. Η μέτρηση αυτή διήρκησε περίπου 20 min και από την οποία προέκυψε η σωματική σύσταση και η οστική πυκνότητα του κάθε εθελοντή.

Επίσης, όλοι οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να συμπληρώσουν, προτού λάβουν μέρος στην έρευνα, ένα ιατρικό ιστορικό, καθώς και ένα συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής όπου γινόταν μια εκτενής ανάλυση των συνθηκών και των διαδικασιών του πειράματος που ακολουθήθηκε, των υποχρεώσεων και των απαιτήσεων του εθελοντή, καθώς και μια αναφορά τυχόν κινδύνων που μπορεί να προέκυπταν κατά τη διάρκεια της έρευνας. Το ερευνητικό πρωτόκολλο είχε την έγκριση από το τμήμα ερευνών του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.

Η ημέρα που προηγείται του πειράματος

Μια μέρα πριν το πείραμα οι εθελοντές έπρεπε να απέχουν από οποιαδήποτε έντονη σωματική δραστηριότητα. Το βραδινό τους γεύμα, καταγραφόταν αναλυτικώς, ενώ για τις επόμενες επισκέψεις στο εργαστήριο το βραδινό γεύμα της προηγούμενης μέρας έπρεπε να είναι το ίδιο. Για τις ώρες που ακολουθούσαν μέχρι την έναρξη του πειράματος, δε θα έπρεπε να έχει καταναλωθεί οποιοδήποτε τρόφιμο. Τέλος, οι εθελοντές την μέρα πριν τη δοκιμασία, έπρεπε να βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα υδάτωσης, ενώ δεν επιτρεπόταν η κατανάλωση οποιουδήποτε αλκοολούχου ποτού ή κάποιου που να περιέχει καφεΐνη. Το νερό μπορούσε να καταναλωθεί ad libitum.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Στις υπόλοιπες 4 επισκέψεις στο εργαστήριο, πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές μετρήσεις. Το πειραματικό στάδιο, περιλάμβανε 3 φάσεις:

1η φάση

Κατά την 1η φάση οι εθελοντές ασκούνταν σε κυκλοεργόμετρο και δαπεδοεργόμετρο εναλλάξ για 180 min και σε σχετικά μικρή ένταση (130-140 bmp, δηλαδή γύρω στο 40-70% της VO_{2max}). Καθ' όλη τη διάρκεια των 3 ωρών, η άσκηση διακόπτονταν ανά 25 min και μεσολαβούσε ένα πεντάλεπτο διάλειμμα ξεκούρασης, κατά το οποίο πραγματοποιούνταν μέτρηση του σωματικού βάρους. Οι απώλειες υγρών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, που προσδιορίζονταν με βάση τη μεταβολή του σωματικού βάρους, αναπληρώνονταν με την αντίστοιχη κατανάλωση ενός από τα υπό εξέταση διαλύματα.

Μετά το πέρας της 1ης, της 2ης, και της 3ης ώρας, λαμβάνονταν δείγματα αίματος (συνολική ποσότητα: 8 ml). Επίσης, πριν από την έναρξη της 1ης φάσης και μετά το τέλος αυτής, πραγματοποιούταν συλλογή δείγματος ούρων από τους ασκούμενους.

2η φάση

Στη συνέχεια οι εθελοντές κλήθηκαν να εκτελέσουν ένα σετ αποτελούμενο από 8x30 επαναλήψεις "κάμψεις πελματιαίων ποδοκνημίων επί ακροστασία", χρησιμοποιώντας το σωματικό τους βάρος ως αντίσταση. Η άσκηση αυτή είχε ως στόχο τη μείωση των αποθεμάτων του μυϊκού γλυκογόνου στο γαστροκνήμιο μυ. Οι 30

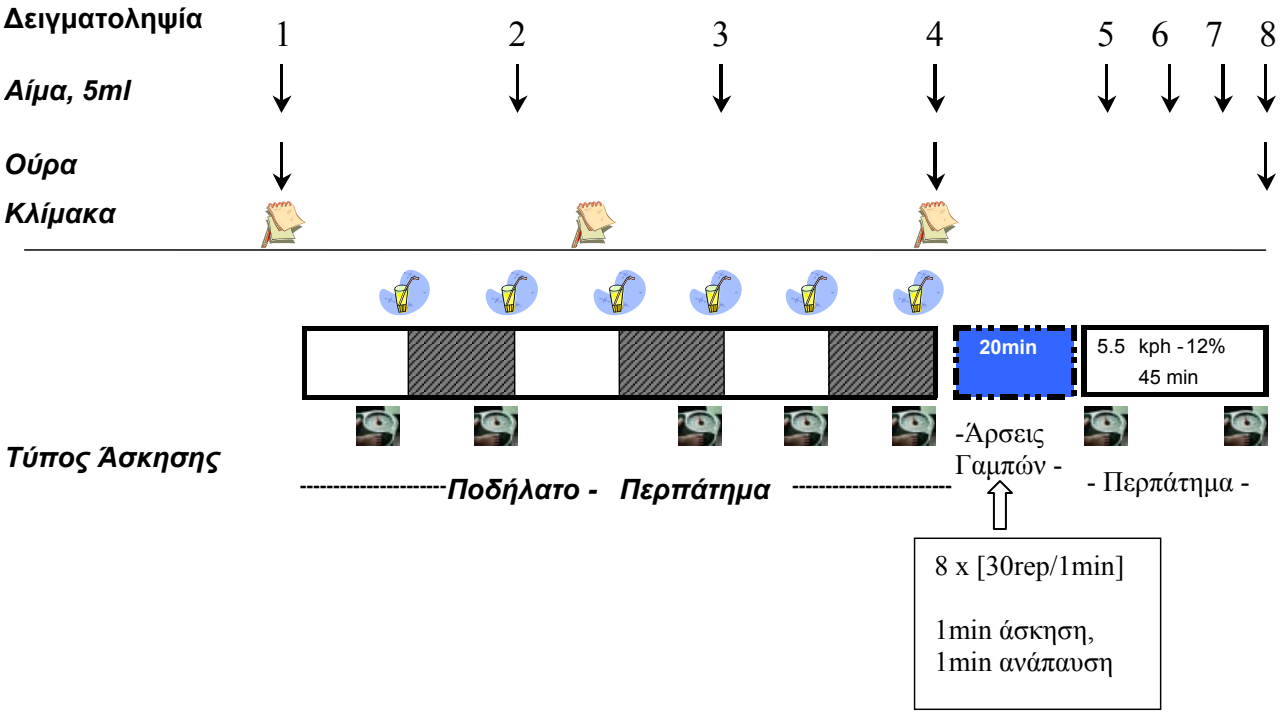
επαναλήψεις πραγματοποιούταν ανά 2 sec (συνολική διάρκεια του κάθε σετ: 1 min) ενώ μεταξύ των σετ μεσολαβούσε διάστημα αποκατάστασης ενός λεπτού.

3η φάση

Τέλος, ακολουθήθηκε ένα τρίτο σετ άσκησης στο δαπεδοεργόμετρο σε σχετικά χαμηλή ταχύτητα (5.5 kph) και υπό κλίση (12%), διάρκειας 45 min, στην αρχή και στο τέλος του οποίου, ο εθελοντής ζυγιζόταν για να υπολογιστεί η τελική μεταβολή του σωματικού του βάρους.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας του τελευταίου μέρους του ερευνητικού πρωτοκόλλου, εν κινήσει λαμβάνονταν δείγματα αίματος ανά 15 min. Στο τέλος, γινόταν και μια τελευταία συλλογή δείγματος ούρων.

Συνοπτικά το ερευνητικό πρωτόκολλο, παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Ποδήλατο στους 140bpm για 25min – 5min ανάπαυση

Περπάτημα στους 140bpm για 25min - 5min ανάπαυση

Τα διαλύματα, τα οποία χορηγήθηκαν με τυχαία σειρά, ένα σε κάθε πείραμα ήταν τα παρακάτω:

HNa: Διάλυμα 6% γλυκόζης με νάτριο συγκέντρωσης 84 mg/100ml ή 38 mmol/l (Gatorade Endurance Hydration Formula)
LNa: Διάλυμα 6% γλυκόζης με νάτριο συγκέντρωσης 52 mg/100ml ή 24 mmol/l (Gatorade Thirst Quencher – European Gatorade)
Plac: Απιονισμένο νερό με προσθετικά γεύσης και χρώματος (ελεύθερο θερμίδων και με ίχνη νατρίου)
Wat: Μεταλλικό νερό με ίχνη νατρίου (San Benedetto, Bottle Water)

Αναλύσεις Δειγμάτων

Η **γλυκόζη** και τα **μη εστεροποιημένα λιπαρά οξέα** μετρήθηκαν με τη βοήθεια αυτόματου βιοχημικού αναλυτή (ACE Clinical Chemistry Analyzer System, Schiapparelli Biosystems B.V., USA). Ο **αιματοκρίτης** μετρήθηκε με τη μέθοδο του μικροαιματοκρίτη. Τα δείγματα ελέγχθηκαν τρεις φορές, αφού πρώτα φυγοκεντρήθηκαν για 4 min στα 9.500 rpm. Η **αιμοσφαιρίνη** υπολογίστηκε με τη μέθοδο κυανομεθαιμοσφαιρίνης, χρησιμοποιώντας αντιδραστήρια της Sigma-Aldrich, Inc. Τα δείγματα για την αιμοσφαιρίνη, μετρήθηκαν 3 φορές. Οι **μεταβολές του όγκου του πλάσματος** προσδιορίστηκαν από τις τιμές του μικροαιματοκρίτη και της αιμοσφαιρίνης, με βάση την εξίσωση των Dill και Costill (1974). Οι **ηλεκτρολύτες πλάσματος** (νάτριο και κάλιο) μετρήθηκαν δύο φορές για κάθε δείγμα, με τη βοήθεια αναλυτή ξηρών αντιδραστηρίων (Kodac, EKTACHEM, DT60 Analyzer). Οι **ωσμωτικότητες πλάσματος** υπολογίσθηκαν την ίδια μέρα σε ωσμώμετρο 2D3 της Advanced Instruments Inc., USA. Στο ίδιο μηχάνημα μετρήθηκε η **ωσμωτικότητα ούρων,** ενώ στο Kodac, EKTACHEM, DT60 Analyzer, η περιεκτικότητά τους σε **ηλεκτρολύτες** (νάτριο και

κάλιο). Επίσης, μετρήθηκε και το **ειδικό βάρος** τους σε διαθλασίμετρο. Το **γαλακτικό οξύ** μετρήθηκε σε κάθε αιμοληψία με τη βοήθεια του Accutrend BM Lactate (ROCHE). Τέλος, μετρήθηκε και η **αλδοστερόνη** πλάσματος με τη ραδιοανοσολογική μέθοδο (RIA).

Στατιστική Ανάλυση

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων ούρων και αίματος, έγινε με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος STATISTICA (1994-1999). Η μέθοδος στατιστικής ανάλυσης που χρησιμοποιηθήκε ήταν η πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις (MANOVA). Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται ως μέσος όρος $\pm$ τυπική απόκλιση (MEAN $\pm$ STDEV), ενώ στατιστικά σημαντικά θεωρούνται εκείνα στα οποία το P-value είναι μικρότερο ή ίσο του 0.05.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων, όπου

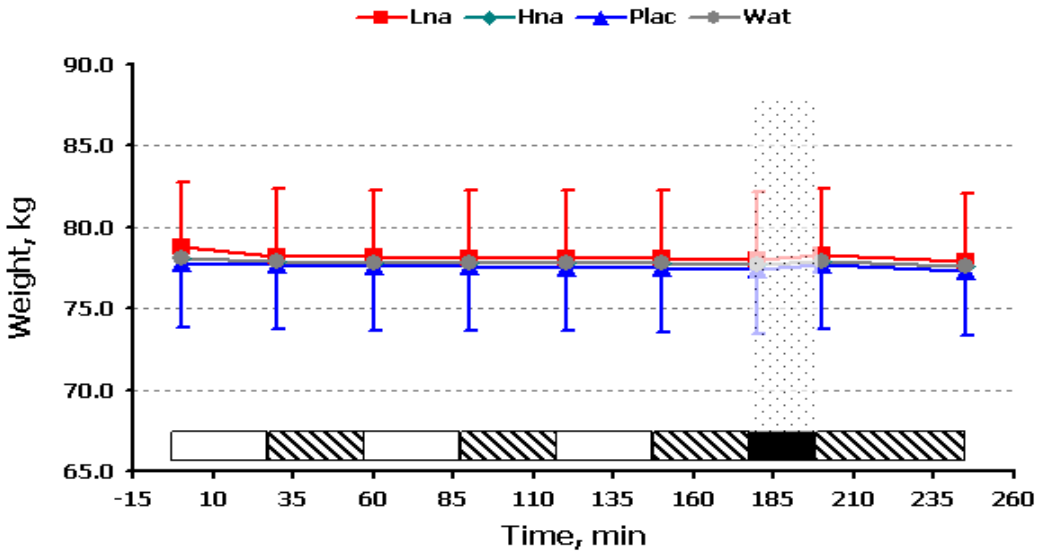
Αναπαριστά το κυκλοεργόμετρο

Αναπαριστά το δαπεδοεργόμετρο

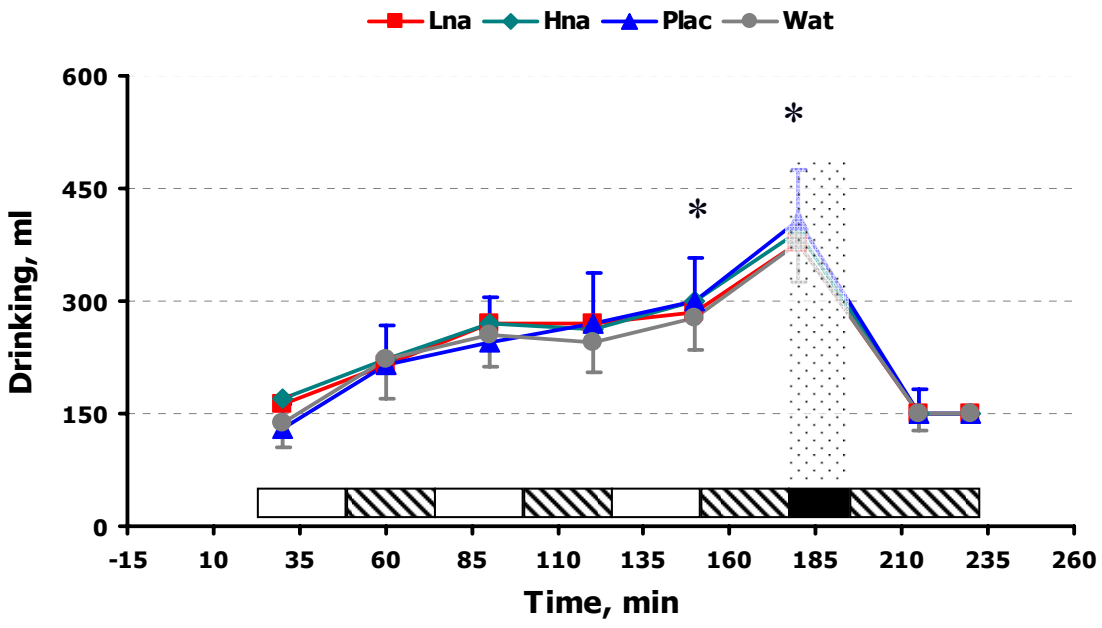
Αναπαριστά τις κάμψεις πελματιαίων ποδοκνημίων επί ακροστασία

Αλλαγές στο σωματικό βάρος

Στα διαγράμματα 1 και 2 παρουσιάζονται οι αλλαγές στο σωματικό βάρος και τον προσλαμβανόμενο όγκο υγρών, καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης, αντίστοιχα. Το σωματικό βάρος των εθελοντών παρέμεινε σταθερό σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων. Γενικά, ο μέσο όγκος των προσλαμβανόμενων υγρών και για τις 4 δοκιμές βρέθηκε ότι είναι 224 ± 81.5 ml.



Διάγραμμα 1. Αλλαγές στο σωματικό βάρος.

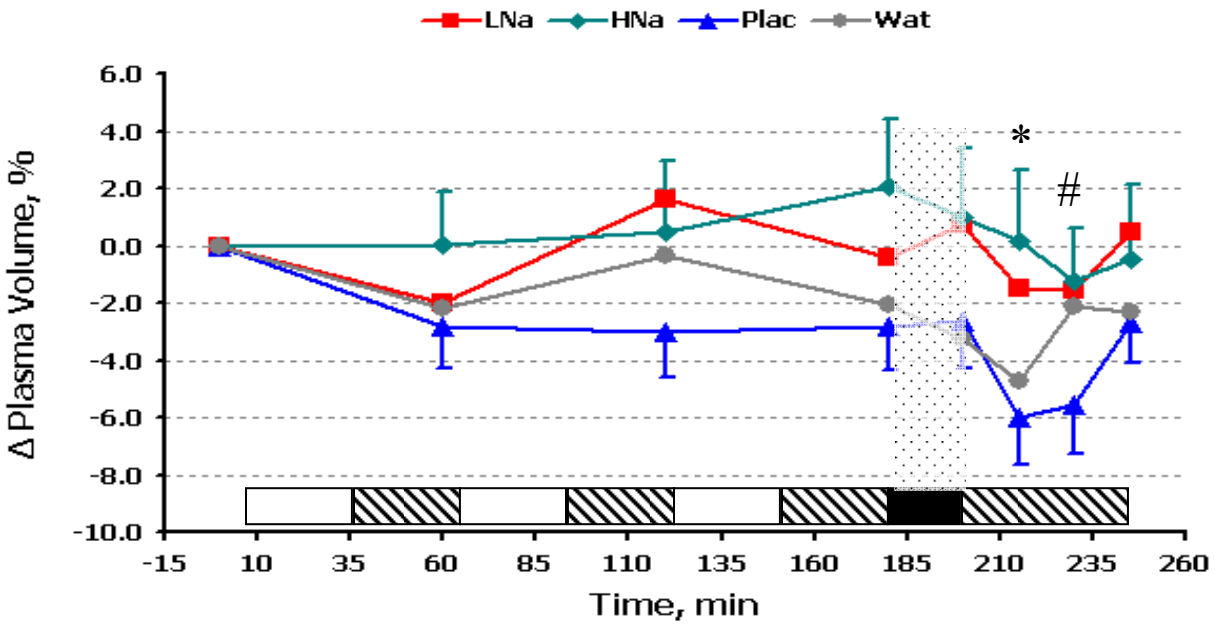


Διάγραμμα 2. Αλλαγές στον όγκο των προσλαμβανόμενων υγρών. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά όλων των ποτών με την αρχική τιμή, P < 0.001.*

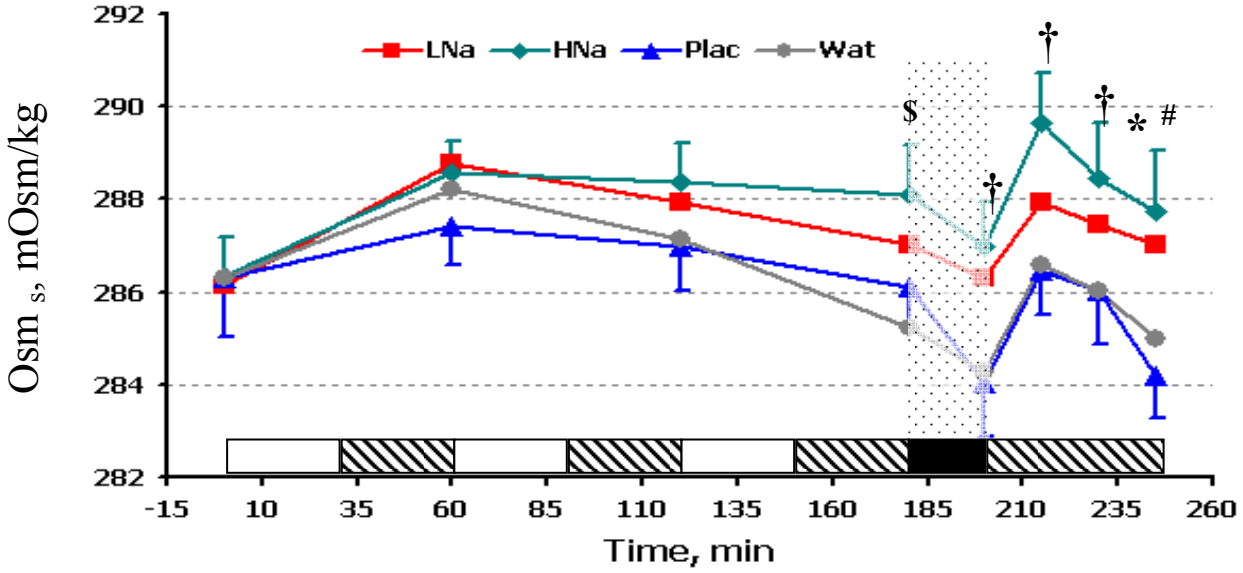
<u>Αλλαγές στον όγκο πλάσματος και στην ωσμωτικότητα ορού</u>

Στα διαγράμματα 3 και 4 παρουσιάζονται οι αλλαγές στον όγκο πλάσματος και την ωσμωτικότητα ορού, καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, αντίστοιχα. Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι ο όγκος πλάσματος στη δοκιμασία με την πρόσληψη του Plac μειώθηκε σημαντικά στη στιγμή 230 min σε σχέση με την αρχή της άσκησης ($P < 0.05$), ενώ με τις άλλες δοκιμές δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά. Επιπλέον τη στιγμή 215 min, δηλαδή αμέσως μετά τις κάμψεις πελματιαίων ποδοκνημίων επί ακροστασία, η διαφορά στον όγκο πλάσματος βρέθηκε στατιστικά μικρότερη για το Plac σε σχέση με το HNa ($P < 0.01$). Κατά μέσο όρο η διαφορά στον όγκο πλάσματος για το HNa και το Plac ήταν +0.25% ± 0.97 και -3% ± 1.83, αντίστοιχα.

Όσον αφορά στην ωσμωτικότητα ορού, στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποτών άρχισαν να παρατηρούνται ήδη από τη στιγμή 180 min, δηλαδή στο τέλος της 1^{ης} φάσης των πειραμάτων ($P < 0.01$). Η ωσμωτικότητα με την πρόσληψη Plac στο τέλος της άσκησης βρέθηκε πολύ μικρότερη σε σχέση με την αρχή ($P < 0.01$), ενώ η ωσμωτικότητα των HNa και LNa βρέθηκε μεγαλύτερη από αυτή του Plac και του Wat στο τέλος της άσκησης ($P < 0.001$). Ωστόσο, δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των HNa, LNa με το Plac και το Wat.



Διάγραμμα 3. Αλλαγές στον όγκο πλάσματος. * Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ Plac και HNa, $P < 0.01$. # Στατιστικά σημαντική διαφορά του Plac με την αρχική τιμή, $P < 0.05$.



Διάγραμμα 4. Αλλαγές στην ωσμωτικότητα ορού. ***** *Στατιστικά σημαντική διαφορά των HNa, LNa με τα Wat και Plac, P < 0.001.* # *Στατιστικά σημαντική διαφορά στο Plac με την αρχική τιμή, P < 0.05.* ***$*** *Στατιστικά σημαντική διαφορά των HNa, LNa με Wat , P < 0.01.* † *Στατιστικά σημαντική διαφορά του HNa με τα Wat και Plac, P < 0.00.*

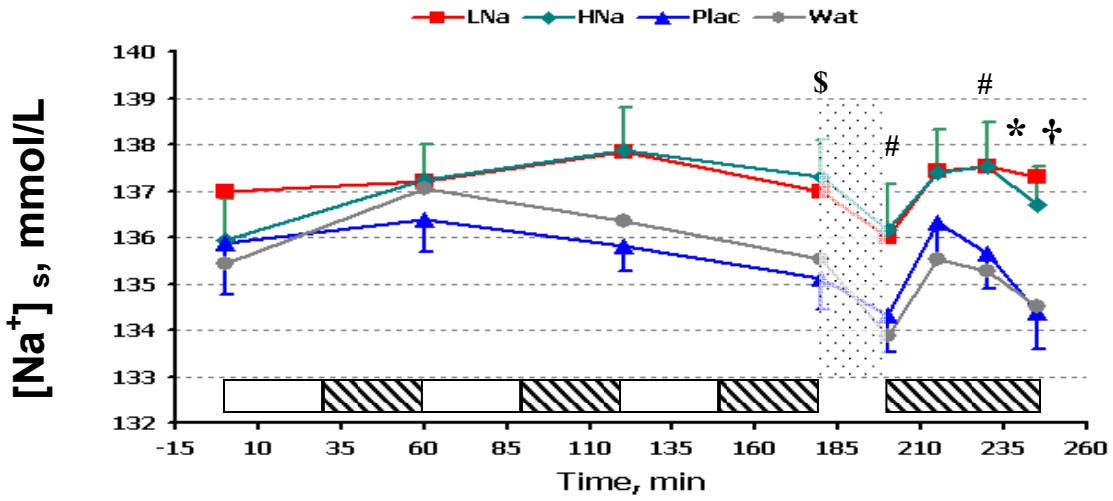
<u>Αλλαγές στη συγκέντρωση ηλεκτρολυτών</u>

Στα διαγράμματα 5 και 6 παρουσιάζονται οι αλλαγές στη συγκέντρωση του νατρίου και καλίου ορού, καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, αντίστοιχα. Η συγκέντρωση νατρίου τη στιγμή 245 min βρέθηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη με την πρόσληψη HNa και LNa, σε σχέση με το Wat και το Plac (P < 0.001), ενώ παράλληλα η συγκέντρωση νατρίου τη στιγμή 245 min βρέθηκε στατιστικά μικρότερη με τη πρόσληψη Wat και Plac σε σχέση με τη στιγμή 0 min (P < 0.05). Για τα HNa και LNa

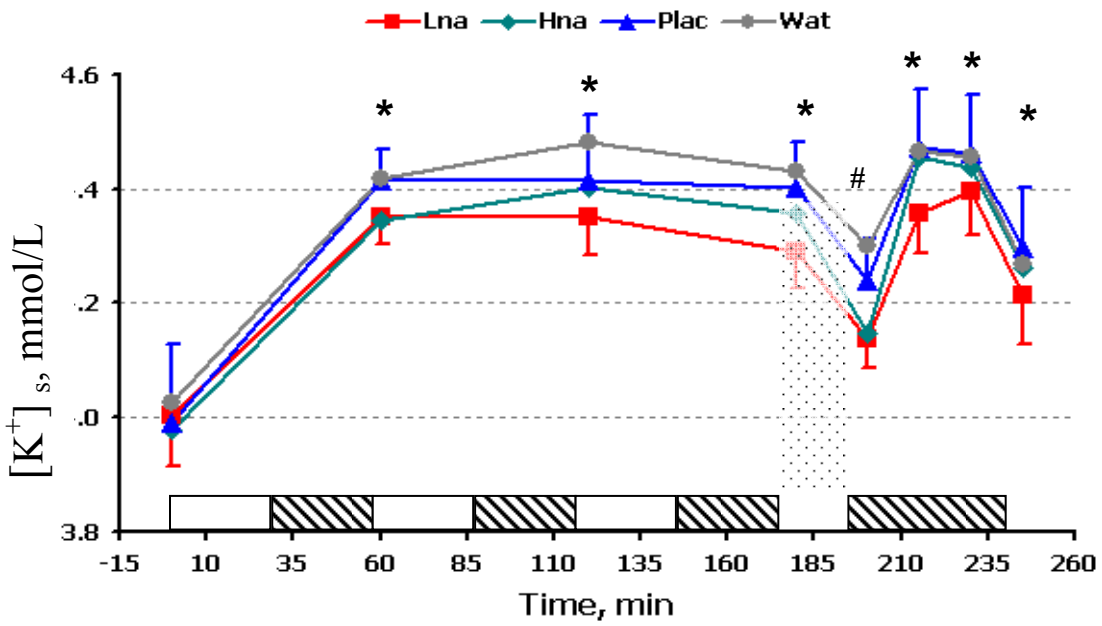
δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά, ούτε μεταξύ τους ούτε σε σχέση με τη στιγμή 0 min.

Στο τέλος των πειραμάτων στα ποτά HNa και LNa παρουσιάστηκε ήπια υπονατριαιμία ($[Na^+]_s$ < 135 mmol/L) σε 2 μόνο από τα 13 άτομα (15.38%), ενώ στα ποτά Plac και Wat τα άτομα που παρουσίασαν υπονατριαιμία, στο τέλος της άσκησης, ήταν 7 (53.85%) και 8 (61.54%) αντίστοιχα.

Όσον αφορά στη συγκέντρωση καλίου ορού δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα ποτά, παρά μόνο σε σχέση με τη στιγμή 0 min, που ήταν σημαντικά υψηλότερη (P < 0.01).



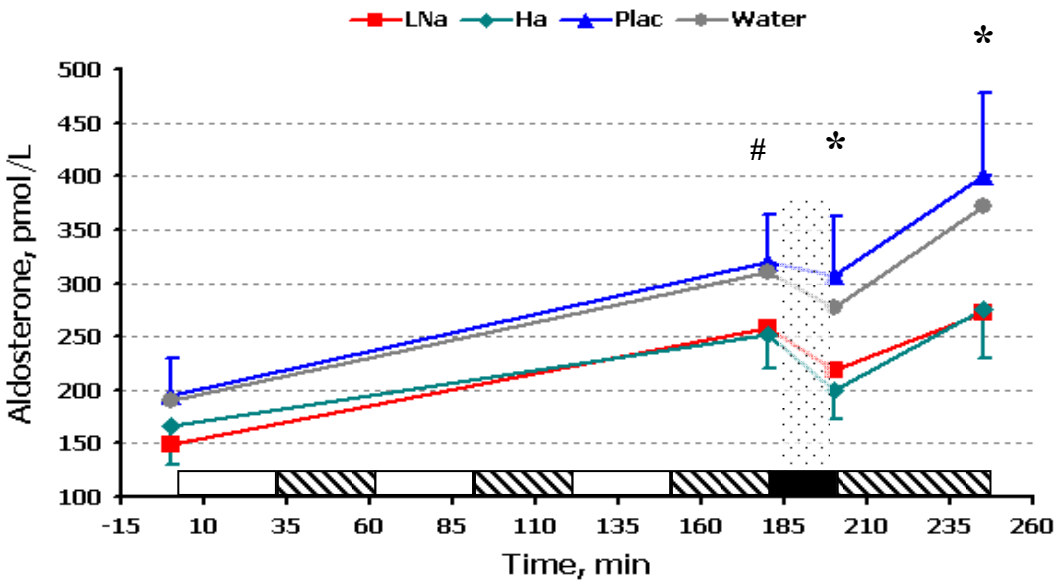
Διάγραμμα 5. Αλλαγές στη συγκέντρωση νατρίου ορού. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και HNa με τα Wat και Plac, P < 0.05. † Στατιστικά σημαντική διαφορά των Plac και Wat με τις αρχικές τιμές, P < 0.05. # Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και HNa με το Wat, P < 0.05. $ Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και HNa με το Plac, P < 0.05.*



Διάγραμμα 6. Αλλαγές στη συγκέντρωση καλίου ορού. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά όλων των ποτών με την αρχική τιμή, P < 0.01. # Στατιστικά σημαντική διαφορά στο Plac και Wat με τις αρχικές τιμές , P < 0.001.*

<u>Αλλαγές στη συγκέντρωση αλδοστερόνης πλάσματος</u>

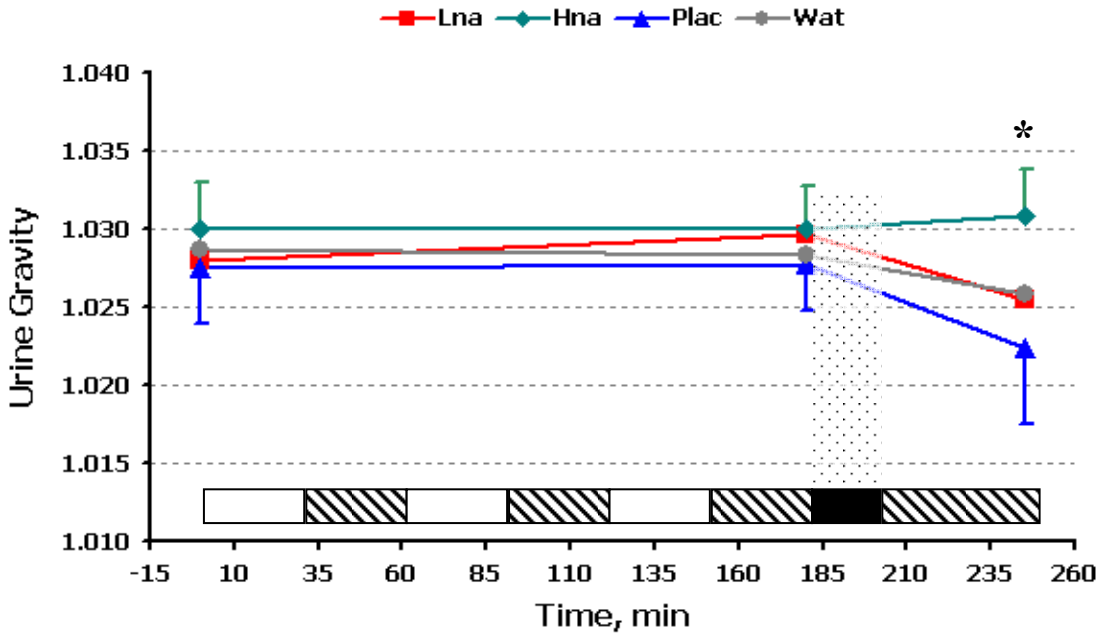
Οι αλλαγές στη συγκέντρωση αλδοστερόνης πλάσματος παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7. Τις στιγμές 180, 200 και 245 min η αλδοστερόνη βρέθηκε σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με τη στιγμή 0 min (P < 0.001), ενώ τις στιγμές 200 και 245 min παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των HNa, LNa και των Plac, Wat (P < 0.001). Ωστόσο, δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά του HNa με το LNa και του Plac με το Wat.



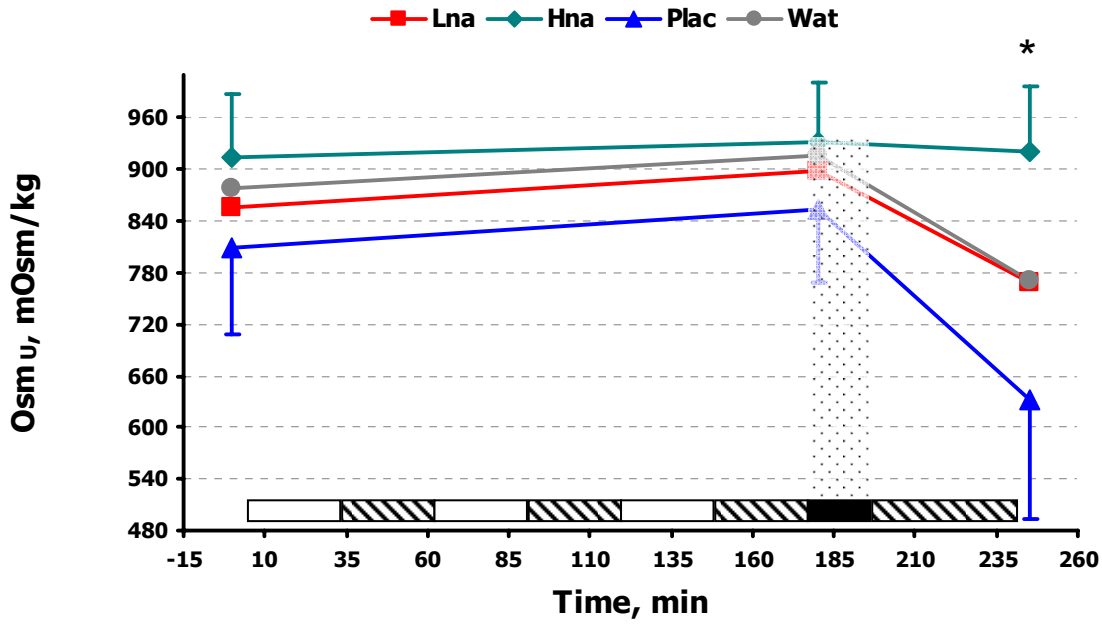
Διάγραμμα 7. Αλλαγές στη συγκέντρωση αλδοστερόνης πλάσματος. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά των Plac, Wat με τα LNa, HNa, P < 0.001.* # *Στατιστικά σημαντική διαφορά όλων των ποτών με τις αρχικές τιμές, P < 0.001.*

<u>Αλλαγές στο ειδικό βάρος ούρων, στην ωσμωτικότητα ούρων και στη συγκέντρωση ματρίου ούρων</u>

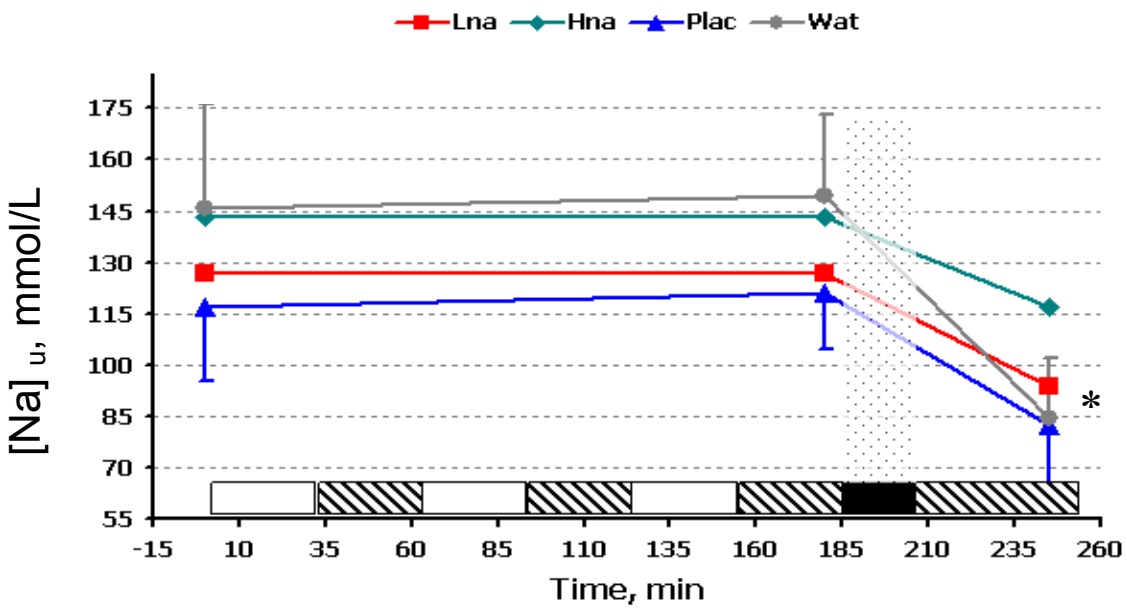
Στα διαγράμματα 8, 9 και 10 παρουσιάζονται οι αλλαγές στις παραπάνω παραμέτρους, καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, αντίστοιχα. Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, τη στιγμή 245 min το ειδικό βάρος και η ωσμωτικότητα των ούρων των εθελοντών βρέθηκε σημαντικά μεγαλύτερη για το HNa σε σχέση με το Plac ($P < 0.05$ και $P < 0.01$ αντίστοιχα). Αν και υπήρχε μια τάση μείωσης του ειδικού βάρους και της ωσμωτικότητας ούρων για τα ποτά LNa, Plac και Wat τη στιγμή 245 min σε σχέση με τη στιγμή 0 min, αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Παρόμοια τάση είχε και η συγκέντρωση ματρίου ούρων τη στιγμή 245 min για τα ποτά HNa, LNa και Plac, αλλά στατιστικά σημαντική ήταν του Wat ($P < 0.001$).



Διάγραμμα 8. Αλλαγές στο ειδικό βάρος ούρων. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του HNa και του Plac, P < 0.05.*



Διάγραμμα 9. Αλλαγές στην ωσμωτικότητα ούρων. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του HNa και Plac, P < 0.01.*

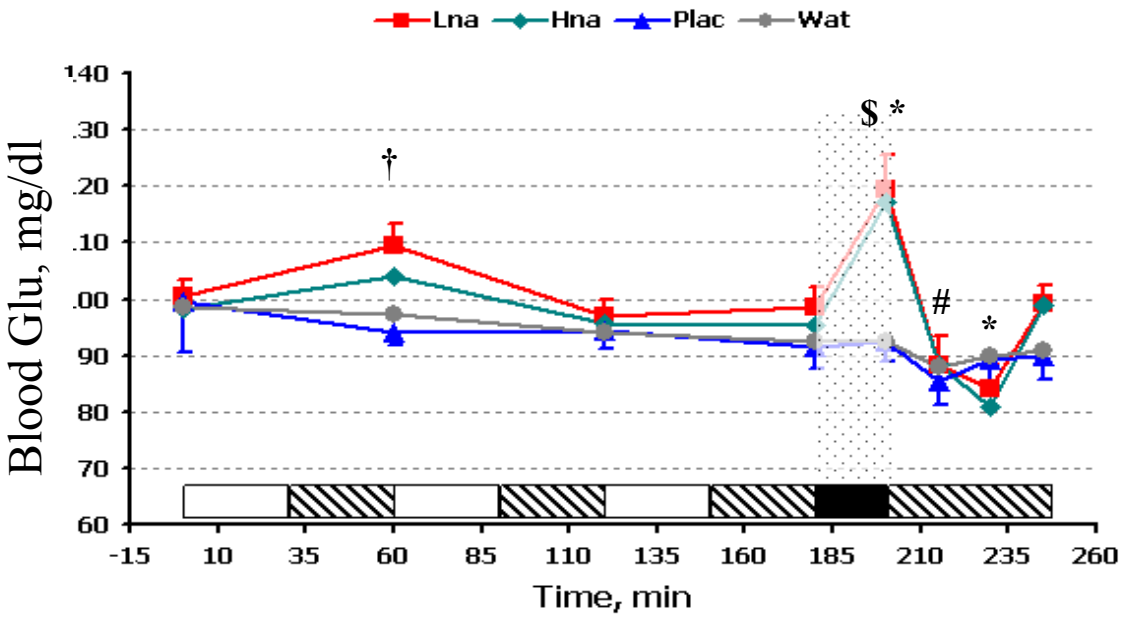


Διάγραμμα 10. Αλλαγές στη [Na^+] ούρων. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά του Wat σε σχέση με την αρχική τιμή, P < 0.001.*

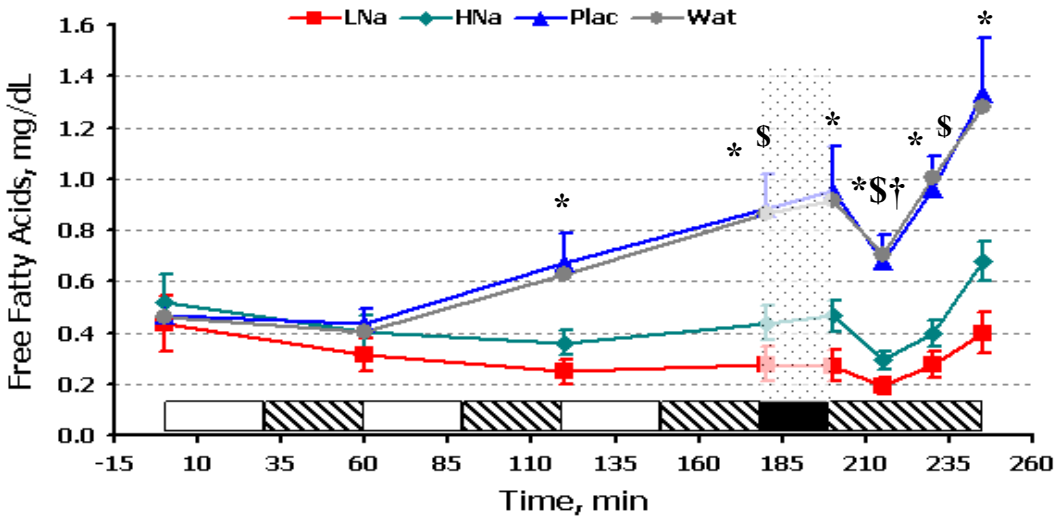
<u>Αλλαγές στη συγκέντρωση γλυκόζης και λιπαρών οξέων</u>

Τα διαγράμματα 11 και 12 παρουσιάζουν τις αλλαγές στη συγκέντρωση γλυκόζης και των μη εστεροποιημένων λιπαρών οξέων πλάσματος, καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, αντίστοιχα. Στατιστικά σημαντικές αλλαγές στις παραπάνω συγκεντρώσεις άρχισαν να φαίνονται ήδη από την $1^η$ φάση των πειραμάτων. Αν και μόνο τη στιγμή 200 min, παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική διαφορά των ποτών HNa, LNa με τα Plac, Wat (P < 0.001), στο τέλος της άσκησης (245 min) δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, ούτε μεταξύ των ποτών ούτε σε σχέση με τη στιγμή 0 min. Επίσης, τη στιγμή 200 min η συγκέντρωση γλυκόζης πλάσματος για τα HNa, LNa ήταν πολύ μεγαλύτερη

σε σχέση με τη στιγμή 0 min (P < 0.001). Όσον αφορά τη συγκέντρωση των λιπαρών οξέων, οι διαφορές ήταν πιο εμφανείς.



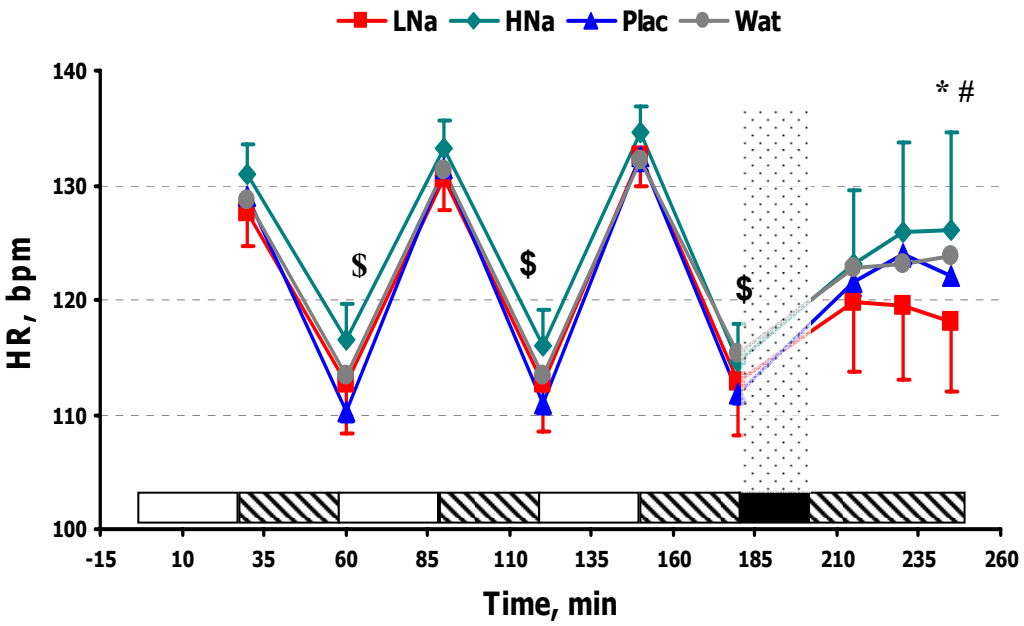
Διάγραμμα 11. Αλλαγές στη συγκέντρωση γλυκόζης πλάσματος. **Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και HNa με τις αρχικές τιμές , P < 0.01. # Στατιστικά σημαντική διαφορά των Plac και LNa με τις αρχικές τιμές, P < 0.05. $ Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και HNa με τα Plac και Wat, P < 0.001. † Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των LNa και Plac, P < 0.001.*



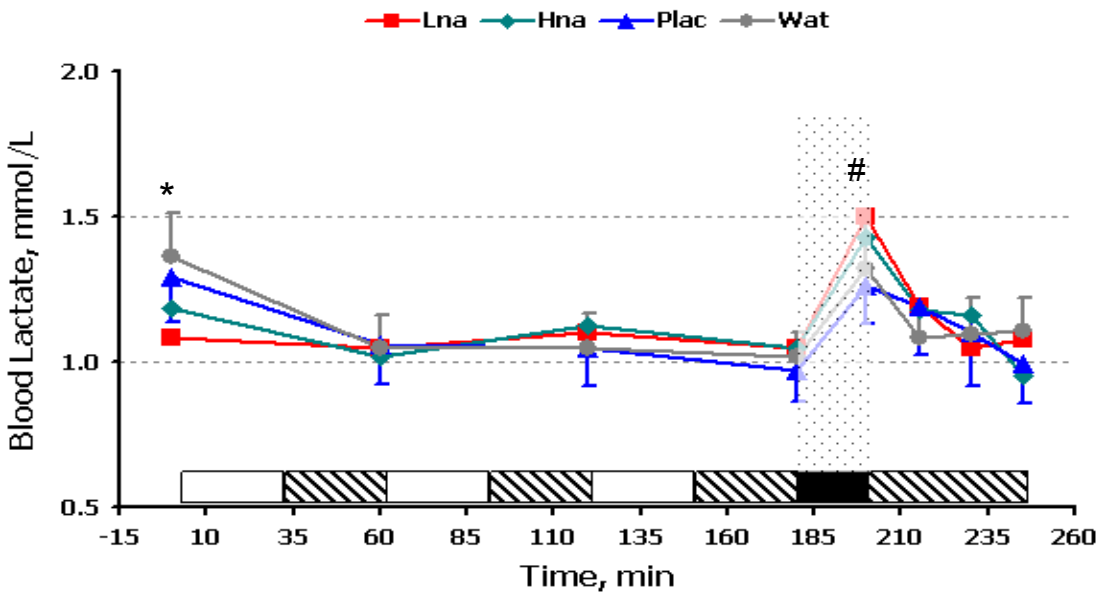
Διάγραμμα 12. Αλλαγές στη συγκέντρωση λιπαρών οξέων. **Στατιστικά σημαντική διαφορά των Plac και Wat με τα LNa και HNa, P < 0.001. $ Στατιστικά σημαντική διαφορά των Plac και Wat με τις αρχικές τιμές, P < 0.05. † Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και HNa με τις αρχικές τιμές, P < 0.01.*

<u>Αλλαγές στην καρδιακή συχνότητα και το γαλακτικό οξύ</u>

Η σχέση καρδιακής συχνότητας και του γαλακτικού οξέος με το χρόνο στα διάφορα ποτά φαίνονται στα διαγράμματα 13 και 14.



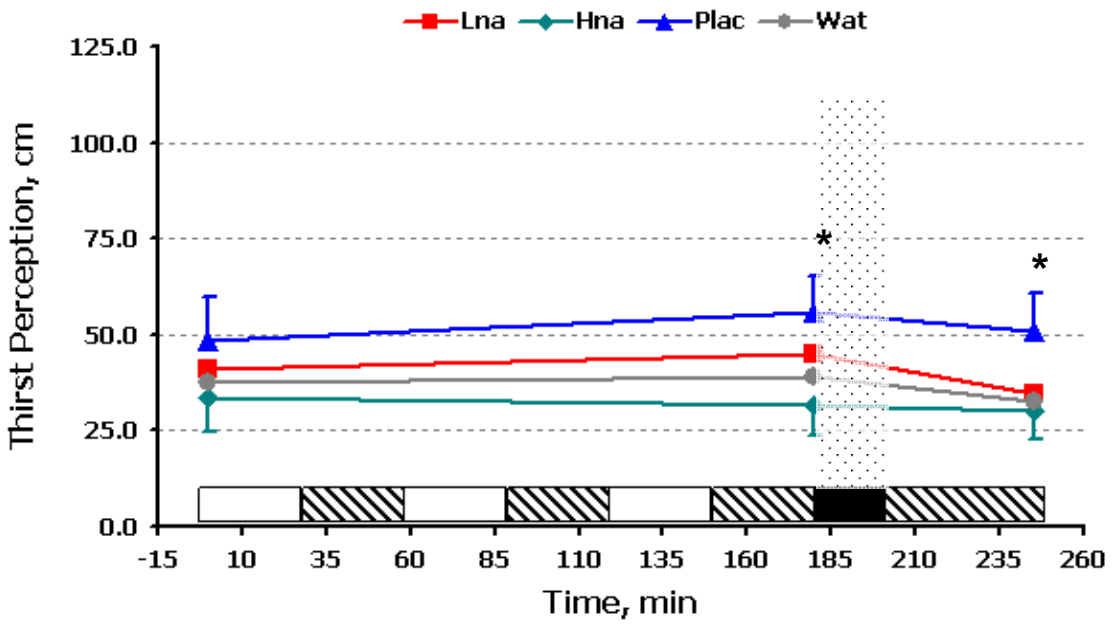
Διάγραμμα 13. Αλλαγές στην καρδιακή συχνότητα. **Στατιστικά σημαντική διαφορά του HNa με το LNa, P < 0.01. # Στατιστικά σημαντική διαφορά των LNa και Plac με τις αρχικές τιμές, P < 0.05.* ***$*** *Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των ποτών με τις αρχικές τιμές, P < 0.001.*



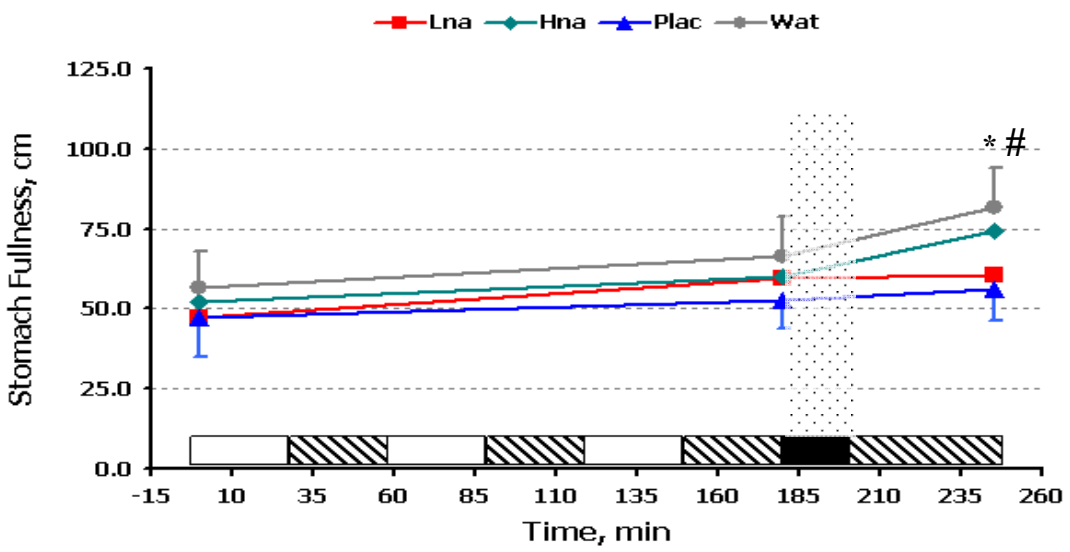
Διάγραμμα 14. Αλλαγές στη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος. **Στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του LNa και του Wat, P < 0.05. # Στατιστικά σημαντική διαφορά του LNa με την αρχική τιμή, P < 0.001*

<u>Αλλαγές στο αίσθημα δίψας, κορεσμού, ξηρότητας στόματος και γεύσης</u>

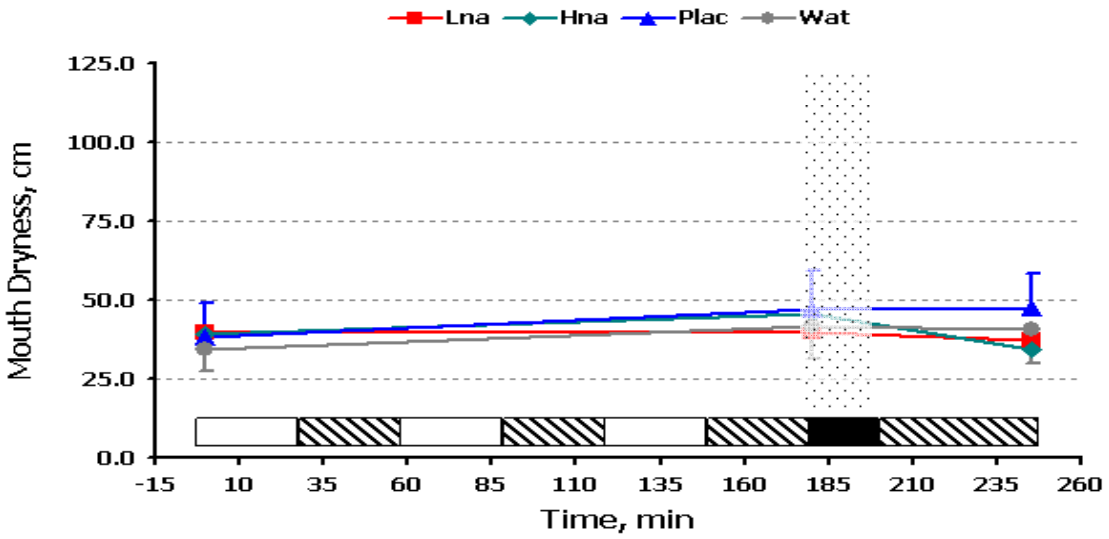
Οι αλλαγές στις παραπάνω παραμέτρους φαίνονται στα διαγράμματα 15, 16, 17 και 18. Εκείνο το αποτέλεσμα που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι τις στιγμές 180, 245 min το αίσθημα της δίψας ήταν μεγαλύτερο για το Plac σε σχέση με τα υπόλοιπα ποτά (P < 0.05), ενώ πιο γευστικό φάνηκε να είναι το LNa (P < 0.01).



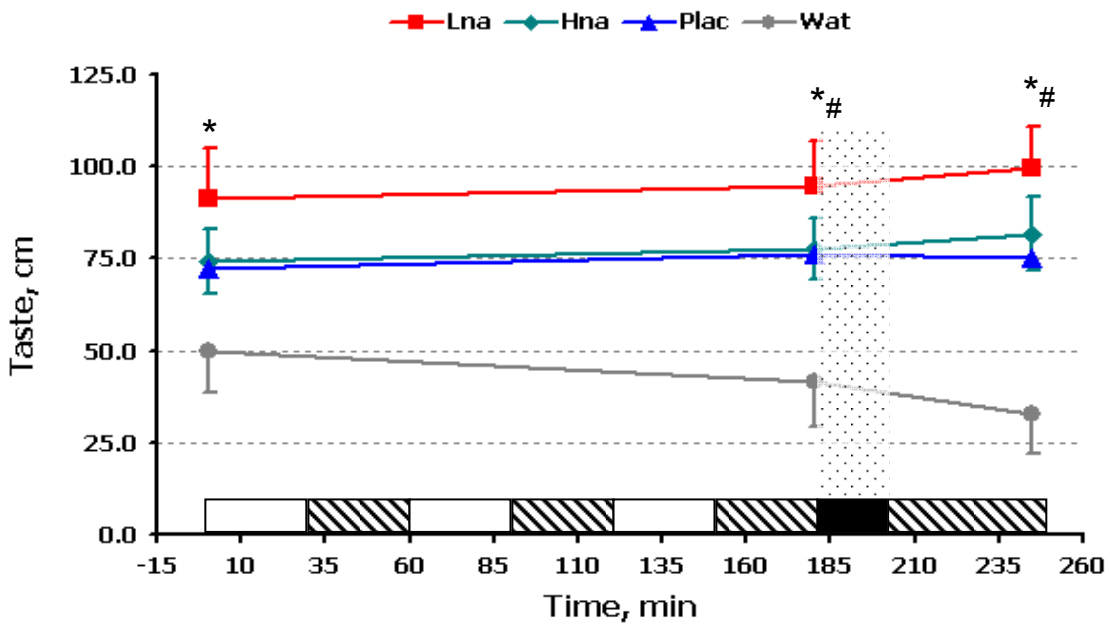
Διάγραμμα 15. Αλλαγές στο αίσθημα της δίψας.* *Στατιστικά σημαντική διαφορά του Plac με το HNa, P < 0.05.*



Διάγραμμα 16. Αλλαγές στο αίσθημα κορεσμού. * *Στατιστικά σημαντική διαφορά Wat και HNa με τις αρχικές τιμές,* $P < 0.05$. # *Στατιστικά σημαντική διαφορά του Wat με το Plac,* $P < 0.001$.



Διάγραμμα 17. Αλλαγές στο αίσθημα ξηρότητας στόματος.



Διάγραμμα 18. Αλλαγές στο αίσθημα γεύσης. ** Στατιστικά σημαντική διαφορά του LNa με τα HNa, Plac και Wat, P < 0.001 και του HNa με Wat, P < 0.01. # Στατιστικά σημαντική διαφορά του Wat με την αρχική τιμή, P < 0.01.*

Συζήτηση

Το πιο σημαντικό εύρημα της παρούσας μελέτης είναι ότι η πρόσληψη υδατανθρακούχου διαλύματος υψηλής ή μικρής συγκέντρωσης σε νάτριο (38 mmol/l και 24 mmol/l, αντίστοιχα), κατά τη διάρκεια χαμηλής έως μέτριας έντασης άσκησης σε θερμό περιβάλλον, αποτρέπει τη μείωση στον όγκο πλάσματος. Αν και ο όγκος πλάσματος διατηρήθηκε, με μικρές διακυμάνσεις, σταθερός κατά τη διάρκεια όλων των πειραμάτων, λίγο πριν το τέλος της άσκησης παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική μείωση στη δοκιμή Plac, τόσο σε σχέση με τη δοκιμή HNa ($P < 0.01$), όσο και σε σχέση με την ίδια δοκιμή Plac στην αρχή της άσκησης ($P < 0.05$). Αυτό ίσως να σημαίνει ότι η υψηλότερη συγκέντρωση νατρίου σε ένα αθλητικό ποτό πιθανόν να συντηρεί καλύτερα τον όγκο πλάσματος κατά τη διάρκεια παρατεταμένης φυσικής δραστηριότητας. Αν και παρατηρήθηκε τάση μείωσης του όγκου πλάσματος για το Wat σε σχέση με τα HNa και LNa, καθώς και για τα Wat και Plac σε σχέση με το LNa, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικά διαφορές. Διαφορές δεν υπήρξαν ούτε μεταξύ των HNa και LNa. Ωστόσο, το συμπέρασμα ότι ο όγκος πλάσματος εξαρτάται από την πρόσληψη νατρίου κατά την άσκηση, φαίνεται πιο ξεκάθαρα από τα αποτελέσματα της ωσμωτικότητας ορού. Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι στο τέλος της άσκησης αυτή ήταν στατιστικά μεγαλύτερη για τα HNa και LNa σε σχέση με τα Plac και Wat ($P < 0.001$). Επιπρόσθετα, η τιμή ωσμωτικότητας για το Plac στο τέλος των πειραμάτων ήταν πολύ μικρότερη σε σχέση με την αρχή ($P < 0.05$). Το ίδιο παρατηρήθηκε και για τη συγκέντρωση νατρίου ορού. Αυτή

ήταν σημαντικά μικρότερη για τα Wat και Plac σε σχέση με τα HNa και LNa στο τέλος της άσκησης ($P < 0.05$), αλλά και σε σχέση με τα Wat και Plac στην αρχή της άσκησης ($P < 0.05$). Οι δοκιμασίες με τα ποτά HNa και LNa συντήρησαν τα επίπεδα νατρίου ορού σταθερά ($[Na^+]_s = 137.09 \pm 0.61$ mmol/l), ενώ σε εκείνες με τα Plac και Wat οι τιμές του νατρίου ($[Na^+]_s = 135.4 \pm 60.87$ mmol/l) σημείωσαν σημαντική μείωση ($P < 0.05$). Συμπερασματικά, αν και οι διαφορές μεταξύ των δοκιμασιών HNa και LNa δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, παρόλα αυτά συντήρησαν στη συγκέντρωση νατρίου ορού σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τα ποτά Plac και Wat. Τα παραπάνω συμπεράσματα έρχονται να συμφωνήσουν με αυτά προηγούμενων ερευνών τόσο σε αρουραίους (Nose et al., 1985) όσο και σε ανθρώπους (Mudambo and Reynolds, 2001; Maughan and Leiper, 1996; Maughan and Leiper, 1995; Takamata et al., 1994; Nose et al., 1988b; Morimoto et al., 1981). Ωστόσο, έρχονται σε αντίθεση με εκείνα άλλων ερευνών όπως του Mitcell και συνεργατών (2000) που έδειξαν ότι η μεγάλη πρόσληψη υγρών (150% της απώλειας) είναι εκείνη που επιτρέπει την διατήρηση του όγκο πλάσματος και όχι η περιεκτικότητα τους σε νάτριο. Αντίθετα, στη παρούσα μελέτη, τα άτομα προσλάμβαναν όγκο υγρών ίσο με τις απώλειες σε σωματικά νερά, και πιο συγκεκριμένα 224 ± 81.5 ml ανά ώρα, ποσότητα που είναι σημαντικά μικρότερη από την ποσότητα των 600-1200 ml ανά ώρα που συστήνει το Αμερικανικό Κολέγιο Αθλητιατρικής (ACSM, 1996). Η παρατήρηση αυτή μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα πως οι ισχύουσες συστάσεις ίσως να είναι υπερβολικές, όπως άλλωστε έχουν δείξει και προηγούμενες μελέτες (Dugas et al., 2005; Twerenbold et al., 2003). Για το λόγο αυτό οι αθλητές, προτού λάβουν μέρος σε οποιοδήποτε αγώνα, θα πρέπει να έχουν μετρήσει τις δικές τους απώλειες σε ιδρώτα κατά τη διάρκεια των προπονήσεών τους κάτω από διάφορες περιβαλλοντικές

θερμοκρασίες, έτσι ώστε να είναι σε θέση κατά τη διάρκεια ενός αθλητικού διαγωνισμού να υπολογίσουν ποια θα είναι η κατάλληλη ποσότητα υγρών που θα πρέπει να καταναλώσουν και να μη βασίζονται σε γενικές οδηγίες. Επιπλέον, στην παρούσα μελέτη, η διατήρηση της ωσμωτικότητας και της συγκέντρωσης νατρίου ορού με τη πρόσληψη των ποτών HNa και LNa φαίνεται ότι πρόλαβε την εμφάνιση της υπονατριαιμίας, γεγονός που σημαίνει ότι η προσθήκη νατρίου στα αθλητικά ποτά είναι σημαντική για την αποφυγή εμφάνισης υπονατριαιμίας και είναι ένα εύρημα το οποίο επιβεβαιώνεται και από άλλες μελέτες (Twerenbold et al. 2003, Vrijens and Rehrer 1999).

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της παρούσας μελέτης, η έκκριση της αλδοστερόνης από τον φλοιό των επινεφριδίων ελέγχεται άμεσα από τις αλλαγές που συμβαίνουν στη συγκέντρωση νατρίου και καλίου πλάσματος (Mack and Nadel, 1996). Επιπλέον, οξεία έκθεση σε θερμικό στρες αυξάνει την δράση της ρενίνης πλάσματος και πιθανόν της αγγειοτενσίνης ΙΙ, γεγονός που συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης της αλδοστερόνης στο πλάσμα, με αποτέλεσμα τη μείωση απέκκρισης νατρίου και νερού από τα ούρα (Escourrou et al., 1982). Αυτό αποδεικνύεται και από την παρούσα έρευνα, όπου η συγκέντρωση αλδοστερόνης ήταν στατιστικά μεγαλύτερη για όλα τα ποτά, καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, σε σχέση με την αρχή της άσκησης ($P < 0.001$). Αναμενόμενο ήταν και το αποτέλεσμα ότι η συγκέντρωση αλδοστερόνης ήταν στατιστικά μεγαλύτερη για τα Plac και Wat σε σχέση με τα HNa και LNa ($P < 0.001$), εξαιτίας της προσπάθειας του οργανισμού να διατηρήσει την ωσμωτικότητα ορού. Αυτό συμβαδίζει με το γεγονός ότι η συγκέντρωση νατρίου ούρων ήταν σημαντικά χαμηλότερη για το Wat στο τέλος της άσκησης σε σχέση με την αρχή ($P < 0.001$).

Ωστόσο, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση νατρίου ούρων μεταξύ των ποτών. Αυτό ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι η περιεκτικότητα νατρίου στα ποτά ήταν αρκετά μικρή για να προκαλέσει διαφορά στη συγκέντρωση νατρίου ούρων. Κάτι τέτοιο βρέθηκε σε ποτό με συγκέντρωση νατρίου 100 mmol/l (Maughan and Leiper, 1995). Η ωσμωτικότητα ούρων βρέθηκε στατιστικά μεγαλύτερη για το HNa σε σχέση το Plac ($P < 0.01$), γεγονός που σημαίνει ότι με την πρόσληψη του ποτού HNa ο ενδαγγειακός χώρος καταφέρνει να διατηρήσει την ωσμωτικότητα πλάσματος. Αυτό αποδεικνύεται και με το ειδικό βάρος ούρων ($P < 0.01$).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η γλυκόζη πλάσματος αμέσως μετά τη $2^{η}$ φάση του πρωτοκόλλου, η οποία είχε ως σκοπό την εξάντληση του μυϊκού γλυκογόνου, ήταν στατιστικά μεγαλύτερη για τα HNa και LNa σε σχέση με τα Plac και Wat ($P < 0.001$). Αυτό σημαίνει ότι τα δύο πρώτα ποτά βοήθησαν στο να διατηρηθεί η γλυκόζη πλάσματος κατά τη διάρκεια της άσκησης σε θερμό περιβάλλον. Επιπλέον, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των HNa και LNa. Το παραπάνω εύρημα ήρθε να επιβεβαιώσει τα αποτελέσματα προηγούμενης έρευνας (Mudambo and Reynolds, 1997). Σύμφωνα τους ερευνητές, η χαμηλή απόδοση κατά την άσκηση οφείλεται, τόσο στη μείωση του όγκου πλάσματος, όσο και στη μείωση της συγκέντρωσης της γλυκόζης πλάσματος. Ωστόσο, η απόδοση, όπως προέκυψε από τη συγκέντρωση γαλακτικού οξέος και την καρδιακή συχνότητα στην παρούσα έρευνα, δεν διέφερε μεταξύ των ποτών, γεγονός υποδεικνύει ότι όλα τα ποτά είχαν την ίδια επίδραση στην απόδοση. Αυτό ίσως να σημαίνει ότι η διατήρηση του όγκου πλάσματος παίζει μεγαλύτερη σημασία από ότι η διατήρηση της γλυκόζης πλάσματος κατά την άσκηση χαμηλής με μέτριας έντασης και παρατεταμένης διάρκειας. Τέλος, είναι σημαντικό να τονισθεί το LNa θεωρήθηκε πιο

εύγεστο από τους εθελοντές σε σχέση με τα άλλα ποτά ($P < 0.001$). Αυτό δείχνει ότι το LNa μπορεί να καταναλώνεται πιο εύκολα από τους αθλητές κατά τη διάρκεια των αγώνων. Ο Gisolfi (1996) έδειξε ότι η απορρόφηση του νερού διευκολύνεται από την ταυτόχρονη απορρόφηση της γλυκόζης και του νατρίου: η γλυκόζη ενεργοποιεί την απορρόφηση του νατρίου, ενώ το νάτριο είναι απαραίτητο για την απορρόφηση της γλυκόζης.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, προκύπτει εύλογα το ερώτημα: «Ποιό είναι το κατάλληλο αθλητικό ποτό προκειμένου να διατηρούνται τα επίπεδα υδάτωσης στους αθλητές;». Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι η πρόσληψη υγρών ίση με την απώλεια σε σωματικά υγρά αρκεί προκειμένου να διατηρηθεί ο όγκος πλάσματος. Αν και η κατανάλωση σκέτου μεταλλικού νερού φαίνεται να είναι αποτελεσματική, η πρόσληψη διαλύματος υδατανθράκων-ηλεκτρολυτών έχει πιο ισχυρά αποτελέσματα. Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του HNa και LNa για τις περισσότερες, αν όχι όλες, τις παράμετρους που αναλύθηκαν στο εργαστήριο. Επιπλέον, ο Mitchell και συνεργάτες (2000) υποστήριξαν πως δεν υπάρχει κανένα επιπλέον όφελος από την προσθήκη νατρίου συγκέντρωσης μεγαλύτερης των 25mmol/l στα αθλητικά ποτά. Συνεπώς, η κατανάλωση υδατανθρακούχου ποτού με συγκέντρωση νατρίου γύρω στα 23-25mmol/l κατά τη διάρκεια ελαφριάς έως μέτριας έντασης άσκησης σε θερμό περιβάλλον είναι αρκετή προκειμένου να διατηρήσει τον όγκο πλάσματος και έτσι να μειωθούν οι συνέπειες τις αφυδάτωσης.

Βιβλιογραφία

1. Adolph, E. F. Blood changes in dehydration. In: Physiology of Man in the Desert, Eds., E. F. Adolph et al., New York: Interscience, 1947, p. 160-171.
2. Adolph, E. F. Urinary excretion of water and solutes. In: Physiology of Man in the Desert, Eds., E. F. Adolph et al., New York: Interscience, 1947, p. 160-171.
3. Alexander, R. S. The peripheral venous system. In: Handbook of Physiology. Circulation, Eds., W. F. Hamilton. Washington, D. C. Am. Physiol. Soc., 1963, sect. 2, vol. II, chap. 31, p. 1075-1098.
4. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. Med. Sci. Sports Exerc.; 33(12): 2130-2145, 2000.
5. American College of Sports Medicine. Position stand on exercise and fluid replacement. Med. Sci. Sports Exerc.; 28 (1): i-vii, 1996.
6. American College of Sports Medicine. Position stand on prevention of thermal injuries during distance running. Med. Sci. Sports Exerc.; 16(ix), 1984.
7. American College of Sports Medicine. Position statement on prevention of heat injuries during distance running. Med. Sci. Sports Exerc.; 76(6): 135-157, 1975.
8. Andersen, L. J., J. L. Andersen, H. J. Schutten, J. Warberg and P. Bie. Antidiuretic effect of subnormal levels of arginine vasopressin in normal humans. Am. J. Physiol; 259 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 28): R53-R60, 1990.
9. Armstrong, L. E., R. Hubbard, W. B. H. Jones and J. T. Daniels. Preparing Alberto Salazar for the heat of the 1984 Olympic marathon. Physician Sportsmed.; 14: 456-461, 1986.
10. Aronson, P. S. Distribution of sodium chloride across cell membranes, In: The Regulation of Sodium and Chloride Balance, Ed., D. W. Seldin and G. Geibisch, New York, 1990, p. 3-22.
11. Aschoff, J. and R. Wever. Durchblutungsmessungan den menschlichen extremitat. Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch; 23: 375-380, 1957.
12. Astrand, P. O., and B. Saltin. Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise. J. Appl. Physiol.; 19: 829-832, 1964.
13. Aukland, K. Is extracellular fluid volume regulated? Acta. Physiol. Scand.; 136 (583): 59-67, 1989.
14. Bachle, L., J. Eckerson, L. Albertson, K. Ebersole, J. Goodwin and D. Petzel. The effect of fluid replacement on endurance performance. J. Strength Cond. Res.; 15(2): 217-24, 2001.

15. Bailey, R. E., D. Bartos, A. Castro, R. L. Dobson, D. P. Grettie, R. Kramer, D. MacFarlane and K. Sato. Activation of aldosterone and renin secretion by thermal strews. Experientia; 28: 159-160, 1972.

16. Barbour, H. G., M. H. Dawson and H. Neuwirth. Heat regulation and water exchange. X. Water, salt and lipoid accumulation in the serum as a preliminary to sweating. Am. J. Physiol.; 74: 204-223, 1925.

17. Barbour, H. G., N. M. Loomis, R. W. Frankman and J. H. Warner. Heat regulation and water exchange. V. The phase of blood dilution in man. J. Physiol. (Lond.); 59: 300-305, 1924.

18. Barr, S. I., D. L. Costill and W. J. Fink. Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline or no water. Med. Sci. Sports. Exerc.; 23(7): 811-817, 1991.

19. Bass, D. E. and A. Henschel. Responses of body fluid compartments to heat and cold. Physiol. Rev. 36: 128-144, 1956.

20. Baylis, P. H. Osmoregulation and control of vasopressin secretion in healthy humans. Am. J. Phsiol.; 253 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 22): R671-R678, 1987.

21. Bazett, H. C., F. W. Sunderman, J. Doupe, and J. C. Scott. Climatic effects on the volume and composition of blood in man. Am. J. Physiol. 129: 69-83, 1940.

22. Bernard, C. An introduction to the study of experimental medicine (1859). New York: Dover, 1957.

23. Bianca, W. Thermoregulation. In: Domestic Animals, Ed., E. S. E. Hafez, Philadelphia: Lea and Febiger, 1968, p. 97-117.

24. Bland, J. H. Clinical metabolism of body water and electrolytes. In: Basic Physiologic Considerations Of Body Water And Electrolytes, Ed., Bland, J. H., Saunders, Philadelphia, 1963, Chap. 2.

25. Blantz, R. C., K. S. Konnen and B. J. Tucker. Angiotensin II effects upon the glomerular microcirculation and ultrafiltration coefficient of the rat. J. Clin. Invest.; 57: 419-434, 1976.

26. Brooks, G. A., T. D. Fahey and K. M. Baldwin. Exercise Physiology. In: Human Bioenergetics and Its Applications, 4th ed., 2005, p. 15.

27. Brown, A. H. Dehydration exhaustion. In: Physiology of Man in the Desert, Eds., E. F. Adolph et al., New York: Interscience, 1947, p. 110-114.

28. Brown, G. M., J. D. Hatcher and J. Page. Temperature and blood flow in the forearm of the Eskimo. J. Appl. Phsysiol.; 5: 410-420, 1953.

29. Buddington, R. K. and J. M. Diamond. Ontogenic development of intestinal nutrient transporters. Annu. Rev. Physiol.; 51: 601-619, 1989.

30. Cannon, W. B. The wisdom of the body. New York: Norton, 1939.

31. Carter, J. E. and C.V. Gisolfi. Fluid replacement during and after exercise in the heat. Med. Sci. Sports. Exerc.; 21(5): 532-539, 1989.

32. Collins, K. J. and J. Weiner. Endocrinological aspects of exposure to high environmental temperatures. Physiol. Rev.; 48: 785-859, 1968.

33. Collins, K. J., K. Hellman, R. M. Jones and J. B. Lunnon. Aldosterone activity in the urine of men exposed to heat. J. Endocrinol; 13: 8P, 1955.

34. Converetino, V. A., J. E. Greenleaf and Bernauer. Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. J. Appl. Physiol.; 48: 657-664, 1980.

35. Convertino, V. A., J. E. Greenleaf and E. M. Bernauer. Role of thermal and exercise factors in the mechanism of hypervolemia. J. Appl. Physiol.; 48: 657-664, 1980.

36. Costill, D. L. and E. Sparks. Rapid fluid replacement following thermal dehydration. J. Appl. Physiol.; 34: 299-303, 1973.

37. Costill, D. L. Sweating: its composition and effects on body fluids. In: The Marathon: Physiological, medical, Epidemiological and Psychological Studies, Vol. 301, Ed., P. Milvey, New York Academy of Sciences, New York, 1977, p. 160.

38. Costill, D. L., and W. J. Fink. Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. J. Appl. Physiol.; 37: 521-525, 1974.

39. Costill, D. L., R. Cote and W. Fink. Muscle water and electrolytes during varied levels of dehydration in man. J. Appl. Physiol.; 40: 6-11, 1976.

40. Diaz, F. J., D. R. Brandsford, K Kobayashi, S. M. Horvath and R. G. McMurray. Plasma volume changes during rest and exercise in different postures in a hot environment. J. Appl. Physiol.; 47: 798-893, 1979.

41. Dill, D. B., L. F. Soholt and L. Oddershede. Physiological adjustments of young men to five-hour desert walks. J. Appl. Physiol.; 40: 236-242, 1976.

42. Dugas, J. P., T. D. Noakes. Case Report: Hyponatraemic encephalopathy despite a modest rate of fluid intake during a 109 km cycle race. Br J Sports Med. 2005 Oct; 39(10):e38; discussion e38.

43. Edelman, I. S. and J. Leibman. Anatomy of body water and electrolytes. Am. J. Med.; 27: 256-277, 1959.

44. Eiseman, M. M. and L. B. Rowell. Renal vascular response to heat stress in baboons-role of rennin-angiotensin. J. Appl. Physiol.; 43: 739-746, 1977.

45. Eisenman, A. J., L. B. MacKenzie and J. P. Peters. Protein of serum and cells of human blood with a note on the measurement of red blood cell volume. J. Biol. Chem.; 116: 33, 1936

46. Escourrou, P., P. R. Fruend, L. B. Rowell and D. G. Johnson. Splachnic vasoconstriction in heat-stressed man: role of rennin-angiotensin system. J. Appl. Physiol.; 52: 1438-1443, 1982.

47. Fortney, S. M., C. B. Wenger, J. R. Bove and E. R. Nadel. Effect of hyperosmolarity on control of blood flow and sweating. J. Appl. Physiol.; 57: 1688-1695, 1984.

48. Fortney, S. M., E. R. Nadel, C. B. Wenger and J. R. Bove. Effect of blood volume on sweating rate and body fluids in exercising humans. J. Appl. Physiol.; 51: 1594-1600, 1981.

49. Fortney, S. M., N. B. Vroman, W. S. Beckett, S. Permutt and N. D. LaFrance. Effect of exercise hemoconcentration and hyperosmolality on exercise responses. J. Appl. Physiol.; 65: 519-524, 1988.

50. Francesconi, R. P., M. N. Sawka and K. B. Pandolf. Hypohydration and heat acclimation: plasma and aldosterone during exercise. J. Appl. Physiol.; 55: 1790, 1983.

51. Gauer, O. H., J. P. Henry and C. Behn. The regulation of extracellular fluid volume. Annu. Rev. Physiol.; 32: 547-595, 1970.

52. Gisolfi, C. Fluid balance for optimal performance. Nutrition Reviews.; 54: S159-168, 1996.

53. Glickman, N., F. K. Hick, R. W. Keeton and M. M. Montgomery. Blood volume changes in men exposed to hot environmental conditions for a few hours. Am. J. Physiol.; 134: 165-176, 1941.

54. Gosselin, R. E. Rates of sweating in the desert. In: Physiology of Man in the Desert, Eds., E. F. Adolph et al., New York: Interscience, 1947, p. 44-76.

55. Greenleaf, J. E. and F. Sargent. Voluntary dehydration in man. J. Appl. Physiol.; 20: 719-724, 1965.

56. Greenleaf, J. E. Dehydration-induced drinking in humans. Fed. Proc.; 41: 2509-2514.

57. Guyton, A. C. Interstitial fluid pressure II. Pressure-volume curves of interstitial space. Circ. Res.; 16: 452, 1965.

58. Guyton, A. C. Textbook of Medical Physiology, 8th ed., Ed., W. B. Saunders, Philadelphia, 1991, Chap. 5.

59. Guyton, A. C., A. E. Taylor and H. J. Granger. Circulatory Physiology II: Dynamics and Control of the Body Fluids, W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1975.

60. Hamilton, B. and R. Schwartz. The composition of tissues in dehydration. J. Biol. Chem.; 109: 745-753, 1935.

61. Hamilton, W. F., H. G. Barbour and N. M. Loomis. Heat regulation and water exchange. The mobilization of water and salt in warm environments. J. Physiol. (Lind.); 59: 306-311, 1924.

62. Harrison, M. H. and R. J. Edwards. Measurement of change in plasma volume during heat exposure and exercise. Aviat. Space Environ. Med.; 47: 1038-1045, 1976.

63. Harrison, M. H. Effects of thermal stress and exercise on blood volume in humans. Physiol. Rev.; 65: 149-209, 1985.

64. Harrison, M. H. Plasma volume changes during acute exposure to a high environmental temperature. J. Appl. Physiol.; 37: 38-42, 1974

65. Harrison, M. H., R. J. Edwards and D. R. Leitch. Effect of exercise and thermal stress on plasma volume. J. Appl. Physiol.; 39: 925-931, 1975.

66. Harrison, M. H., R. J. Edwards, M. J. Graveney, L. A. Cochrane and J. A. Davies. Blood volume and plasma protein responses to heat acclimatization in humans. J. Appl. Physiol.; 50: 597-604, 1981.

67. Harrison, M. H., R. J. Edwards, M. J. Graveney, L. A. Cochrane and J. A. Davies. Blood volume and plasma protein responses to heat acclimation in humans. J. Appl. Physiol.; 54: 515-523, 1983.

68. Hart, J. S. Rodents. In: Comparative Physiology of Thermoregulation. Mammals, ed., G. C., Whittow, New York: Academic, 1971, vol. II, p. 1-151.

69. Hellman, K. and J. Weiner. Antidiuretic substance in urine following exposure to high temperatures. J. Appl. Physiol.; 6: 194-198, 1953.

70. Hellman, K., K. J. Collins, C. H. Gray, R. M. Jones, J. B. Lunnon and J. S. Weiner. The excretion of urinary adrenocortical steroids during heat stress. J. Endocrinol.; 14: 209-216, 1956.

71. Horowitz, M., E. Sugimoto, T. Okuno and T. Morimoto. Changes in blood volume and vascular compliance during body heating in rats. Pfügers Arch.; 412: 354-358, 1988.

72. Hosey, R. B. and J. L. Glazer. The Ergogenics of Fluid and Electrolyte Balance. Curr. Sports Med.; 3(4): 219-223, 2004.

73. Itoth, S. The release of antidiuretic hormone from posterior pituitary body on exposure to heat. Jpn. J. Physiol.; 4: 185-190, 1954.

74. Jimenez, C., B. Melin, N. Koulmann, A. M. Allevard, J. C. Launay and G. Savourey. Plasma volume changes during and after acute variations of body hydration level in humans. Eur. J. Appl. Physiol.; 80: 1-8, 1999.

75. Judy, W. V. Body temperature regulation. In: Physiology, 5th ed., Ed., Selkurt, E. E., Little, Brown, Boston, 1984, Chap. 28.

76. Kaufman, S. Role of right atrial receptors in the control of drinking in the rat. J. Physiol. (Lond.); 349: 389-396, 1984.

77. Kenny, R. A. and D. H. Miller. The effect of environmental temperature on eater outoput and the pattern of chloride excretion. Acta. Med. Scand.; 135; 87-90, 1949.

78. Klabunde, R. E., Ph.D. Inernet site: www.cvpharmacology.com, 2005.

79. Kovacs, E. M., R. M. Schamahl, J. M. Senden and F. Brouns. Effect of high and low rates of fluid intake on post-exercise rehydration. Int. J. Sport. Exerc. Metab.; 12(1): 14-23, 2002.

80. Kozlowski, S. and B. Saltin. Effect of sweat loss on body fluids. J. Appl. Physiol.; 19: 1119-1124, 1964.

81. Kregel, K. C., P. T. Wall and C. V. Gisolfi. Peripheral vascular responses to hyperthermia in the rat. J. Appl. Physiol.; 64: 22582-2588, 1988.

82. Kuno, Y. Human Perspiration. Springfield, IL: Thomas, 1956.

83. Landis, E. M. and J. H. Gibbon. The effects of temperature and of tissue pressure on the movement of fluid through the human capillary wall. J. Clin. Invest.; 12: 105-138, 1933.

84. Lanne, T. and J. Lundwall. Very rapid net transcapillary fluid absorption from skeletal muscle and skin in man during pronounced hypovolaemic circulatory street. Acta. Phsyiol. Scand.; 136: 1-6, 1989.

85. Laragh, J. H., M Angers, W. G. Kelley and S. Lieberman. Hypotensive agents and pressor substances: effects of epinephrine, norepinephrine, angiotension II and on the secretory rate of aldosterone in man. JAMA; 174: 234-240, 1960.

86. Lassiter, W. E. Regulation of sodium chloride distribution within the extracellular space. In: The Regulation of Sodium and Chloride Balance, Ed., Seldin, D. W. and G. Geibisch, New York: Raven, 1990, p. 3-22.

87. Lee, D. H. and A. G. Mulder. Some immediate effects of reduced cooling powers upon the water balance and related effects in the human subject. J. Physiol. (Lond.); 84: 410-432, 1935.

88. Lee, D. K. Terrestrial animals in dry heat: man in the desert. In: Handbook of Physiology. Adaptation to the Environment, Eds., D. B. Dill, Washington, DC: Am. Physiol. Soc., 1964, sect. 4, Chap. 35, p. 551-582.

89. Lemon, P. W. R., K. E. Yarasheski and D. G. Dohny. Validity/reliability of sweat analysis by whole body wash down vs. regional collections. J. Appl. Physiol.; 61: 1967-1971, 1986.

90. Lind, A. R. A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. J. Appl. Physiol.; 18: 51-56, 1963.

91. Lundwall, J. Tissue hyperosmolality as a mediator of vasodilatation and transcapillary fluid flux in exercising skeletal muscle. Acta. Physiol. Scand.; 86 (379): 258, 1972.

92. MacFarlane, W. and R. Robinson. Seasonal changes in plasma antidiuretic activity produced by as standard heat stimulus. J. Phsyiol. (Lond.); 135: 111, 1957.

93. Mack, G. W. and E. R. Nadel. Handbook of Physiology: Environmental Physiology, Vol. II, Ed., M. J. Fregly and C. M. Blatteis. Oxford University Press, New York, 1996, Chap. 10.

94. Maughan, R. J. and J. B. Leiper. Sodium intake and post-exercise rehydration in humans. Eur. J. Appl. Phsyiol. Occup. Phsyiol.; 71(4): 311-319, 1995.

95. Maughan, R. J. Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. J. Sports Sci.; 9: 117, 1991.

96. Maughan, R. J., J. B. Leiper and S. M. Shirreffs. Restoration of fluid balance after exercise-induced dehydration: effects of food and fluid intake. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.; 73(3-4): 317-325, 1996.

97. McConell, G. K., C. M. Burge, S. L. Skinner and M. Hargreaves. Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. Acta. Physiol. Scand.; 160(2): 149-156, 1997.

98. McConell, G. K., T. J. Stephens and B. J. Canny. Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. Med. Sci. Sports. Exerc.; 31(3): 386-392, 1999.

99. Miki, K. T., H. Nose, Y. Tanaka and T. Morimoto. Transcapillary protein flux following blood volume modification in dog. Jpn. J. Physiol.; 34: 985-994, 1984.

100. Miki, K., T. Morimoto, H. Nose, T. Itoh and S. Yamada. Canine blood volume and cardiovascular function during hyperthermia. J. Appl. Physiol.; 55: 300-306, 1983.

101. Mitchell, J. B., M. D. Phillips, S. P. Mercer, H. L. Baylies and F. X. Pizza. Postexercise rehydration: effect of Na and volume on restoration of fluid spaces and cardiovascular function. J. Appl. Physiol.; 89: 1302-1309, 2000.

102. Mitchell, J. W., E. R. Nadel and J. A. Stolwijk. Respiratory weight losses during exercise. J. Appl. Physiol.; 32: 474-476, 1972.

103. Montain S. J. and E. F. Coyle. Influence of fluid ingestion on temperature regulation during exercise. J. Appl. Physiol.; 75: 688, 1993.

104. Morimoto, T. Thermoregulation and body fluids: role of blood volume and central venous pressure. Jpn. J. Physiol.; 40: 165-179, 1990.

105. Morimoto, T., K. Miki, H. Nose, S. Yamada, K. Hirakawa and C. Matsubara. Changes in body fluid volume and its composition during heavy sweating and the effect of fluid and electrolyte replacement. Jpn. J. Biometerol.; 18: 31, 1988.

106. Morimoto, T., K. Miki, H. Nose, Y. Tanaka and S. Yamada. Changes in vascular compliance during heperthermia. J. Therm. Biol.; 9: 149-151, 1984.

107. Morimoto, T., K. Miki, H. Nose, Y. Tanaka and S. Yamada. Transvascular fluid shifts after blood volume modification in relation to compliance of the total vascular and the interstitial fluid space. Jpn. J. Physiol.; 31: 869-878, 1981.

108. Morimoto, T., K. Shiraki, K. Miki and Y. Tanaka. Efffect of exercise and thermal stress on subcutaneous protein transport. Jpn. J. Physiol.; 29: 559-567, 1979.

109. Mudambo, K. S., G. P. Leese and M. J. Rennie. Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exrcise. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.; 76(6): 517-524, 1997.

110. Mudambo, S. M. and N. Reynolds. Body fluid shifts in soldiers after a jogging/walking exercise in the heat: effects of water and electrolyte solution on rehydration. Cent. Afr. J. Med.; 47(9-10): 220-225, 2001.

111. Myhre, L. G. and S. Robinson. Fluid shifts during thermal stress with and without fluid replacement. J. Appl. Physiol.; 42; 252-256, 1977.

112. Myhre, L. G., H. Hartung and D. M. Tucker. Plasma volume and blood metabolites in middle-aged runners during a warm-weather marathon. Eur. J. Appl. Physiol.; 48: 227-240, 1982.

113. Nassis, G. P., C. Williams and P. Chisnall. Effect of a carbohydrate-electrolyte drink on endurance capacity during prolonged intermittent high intensity running. Br. J. Sports Med.; 32: 248, 1998.

114. Nielsen B., G. Sjogaard, J. Ugelvig, B. Knudsen and B. Dohlmann. Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucose-electrolyte drinks. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.; 55(3): 318-325, 1986.

115. Nielsen, M. Die Regulation der korpertemperatur bei muskelarbeit. Scand. Arch. Physiol. 79; 193-230, 1938.

116. Noakes, T. D. Dehydration during exercise: what are the real dangers? Clin. J. Sport Med.; 5: 123, 1995.

117. Noakes, T. D. Dehydration during exercise: what are the real dangers? Clin. J. Sport Med.; 5(2): 123-8, 1995.

118. Noakes, T. D. Fluid replacement during exercise. Exercise and Sport Sciences Reviews, Vol. 21, Holloszy J. O., Ed., Williams and Wilkins, Baltimore, 1993.

119. Noakes, T. D., K. H. Adams, C. Myburgh, T. Greeff, et al. The danger of an inadequate water intake during prolonged exercise. Eur. J. Appl. Physol.; 57: 210-219, 1988.

120. Nose, H., G. W. Mack, X. Shi and E. R. Nadel. Involvement of sodium retention hormones during rehydration in humans. J. Appl. Physiol.; 65: 332-336, 1988a.

121. Nose, H., G. W. Mack, X. Shi and E. R. Nadel. The role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. J. Appl. Physiol.; 65: 325-331, 1988b.

122. Nose, H., G. W. Mack, X. Shi end E. R. Nadel. Shift in body fluid compartments after dehydration in humans. J. Appl. Physiol.; 65: 318-324, 1988c.

123. Nose, H., T. Yawata and T. Morimoto. Osmotic factors in restitution from thermal dehydration in rats. Am. J. Physiol. 249 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 18): R166-R171, 1985.

124. Okuno, T., T. Yawata, H. Nose and C. V. Gisolfi. Difference in rehydration process due to salt concentration of drinking water in rats. J. Appl. Physiol.; 64: 2438-2443, 1988.

125. Olsewski, W., A. Engeset, P. M. Jaeger, J. Sokolowski and L. Theeodorsen. Flow and composition of leg lymph in normal men during venous stasis, muscular activity and local hyperthermia. Acta. Physiol. Scand.; 99: 149-155, 1977.

126. Pappenheimer, J. R. Passage of molecules through capillary walls. Physiol. Rev.; 33: 387-423, 1953.

127. Pitts, R. F. Physiology of the Kidney and Body Fluids, 3rd ed., Year Book, Chicago, 1974, Chap. 2.

128. Radigan, L. R. and S. Robinson. Effects of environmental stress and exercise on renal blood flow and filtration rate. J. Appl. Physiol.; 2: 185-191, 1949.

129. Robertshaw, D. Central and peripheral osmoreceptors. Acta. Physiol. Scand.; 136(583): 151-156, 1989.

130. Robinson, S. and A. H. Robinson. Chemical composition of sweat. Physiol. Rev.; 34: 202-220, 1954.

131. Rocker, L., K. Kirsch and B. Agrawal. Long-term observations on plasma during anti-diuretic hormone levels during and after heat stress. J. Appl. Physiol.; 49: 59-62, 1982.

132. Rothstein, A., E. F. Adolph and J. H. Wills. Voluntary dehydration. In: Physiology of Man in the Desert, Eds. E. F. Adolph et al., New York: Interscience, 1947, p. 172-196.

133. Rowell, L. B., G. L. Brengelmann, J. M. R. Detry and C. Wyss. Venomotor responses to rapid changes in skin temperature in exercising man. J. Appl. Physiol.; 30: 64-71, 1971.

134. Sanders, B., T. D. Noakes and S. C. Dennis. Water and electrolyte shifts with partial fluid replacement during exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 80: 318, 1999.

135. Sato, K. The mechanism of eccrine sweat secretion. In: Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine, Vol. 6, Exercise, Heat and Thermoregulation, Eds., C. Gisolfi, D. L. Lamb and E. R. Nadel, Brown and Benchmark, Dubuque, IA, 1993, Chap. 3.

136. Sato, K., W. H. Kang and K. T. Sato. Biology of sweat glands and their disorders. I. Normal sweat gland function. J. Am. Acad. Dermatol.; 20: 537-563, 1989.

137. Sawka, M. N. and K. B. Pandolf. Effects of body water loss on physiological function and exercise performance. In: Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine. Fluid Homeostasis During Exercise, Ed., C. V. Gisolfi and D. R. Lamb. Indiana, IN: Benchmark, 1990, vol. 3, p. 1-38.

138. Sawka, M. N. and S. J. Montain. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. Am. J. Clin. Nutr.; 72 (1); 564-572, 2000.

139. Schneeberger, E. E. Proteins and vesicular transport in capillary endothelium. Fed. Proc.; 42: 2419, 1972.

140. Schultze, H. E. and J. F. Heremans. Molecular Biology of Human Proteins, Vol. 1, Elsevier, New York, 1966, Chap 2.

141. Senay, Jr., L. C. and M. L. Christensen. Changes in blood plasma during progressive dehydration. J. Appl. Physiol.; 20: 1936-1140, 1965.

142. Senay, Jr., L. C. and M. L. Christensen. Variations of certain blood constituents during acute heat exposure. J. Appl. Physiol.; 24: 302-309, 1968.

143. Senay, Jr., L. C. Body fluids and temperature responses of heat exposed women before and after ovulation with and without rehydration. J. Physiol. (Lond.); 232: 209-219, 1973.

144. Senay, Jr., L. C. Changes in plasma volume and protein content during exposures of working men to various temperatures before and after acclimatization to heat: separation of the role of cutaneous and skeletal muscle circulation. J. Physiol. (Lond.); 224: 61-81, 1972.

145. Senay, Jr., L. C. Movement of water, protein and crystalloids between vascular and extravascular compartments in heat-exposed men during dehydration and following limited relief of dehydration. J. Physiol. (Lond.); 210: 617-635, 1970.

146. Senay, Jr., L. C. Plasma volumes and constituents of heat exposed men before and after acclimatization. J. Appl. Physiol.; 38: 570-575, 1975.

147. Senay, Jr., L. C. Relationship of evaporative rates to serum [Na], [K] and osmolarity in acute heat stress. J. Appl. Physiol.; 25: 149-152, 1968.

148. Senay, Jr., L. C. Temperature regulation and hypohydration: a singular view. J. Appl. Physiol.; 47: 1-7, 1979.

149. Senay, Jr., L. C. Water and electrolytes during physical activity. In: Nutrition in Exercise and Sport, 3d ed., Ed., Ira Wolinsky, 1998, Chap. 11.

150. Shapiro, Y., K. B. Pandolf and R. F. Coldman. Predicting sweat loss response to exercise, environment and clothing. Eur. J. Appl. Physiol.; 48: 83-96, 1982.

151. Share, L. and J. Claybaugh. Regulation of body fluids. Ann. Rev. Physiol.; 34: 235-260, 1972.

152. Shirreffs, S. M., A. J. Taylor, J. B. Leiper and R. J. Maughm. Post-exercise rehydration in man: Effects of volume consumed and sodium content. Med. Sci. Sports Exerc.; 28: 1260-1271, 1996.

153. Smith, J. H., S. Robinson and M. Peracy. Renal responses to exercise, heat and dehydration. J. Appl. Phsyiol.; 4: 659-665, 1952.

154. Starling, E. H. On the absorption of fluids from the connective tissue spaces. J. Physiol. (Lond.); 19: 312-326, 1896.

155. Starling, E. H. The influence of mechanical factors on lymph production. J. Physiol. (Lond.); 16: 224-267, 1894.

156. Sugimoto, E. Analysis of salt and water intake by continuous determination of plasma volume and plasma sodium concentrations. Jpn. J. Physiol.; 38: 519-529, 1988.

157. Takamata, A., G. W. Mack, C. M. Gillen and E. R. Nadel. Sodium appetite and thirst in humans during rehydration without sodium replacement. Am. J. Physiol.; 266 (Regulatory Integrative Comp. Physiol. 35): R1493-R1502, 1994.

158. Takamata, A., H. Nose, G. W. Mack and T. Morimoto. Control of total peripheral resistance during hyperthermia in rats. J. Appl. Physiol.; 69(3): 1087-1092, 1990.

159. Toth, E., J. Stelfox and S. Kaufman. Cardiac control of salt appetite. Am. J. Physiol.; 252: R925-929, 1987.

160. Tripathi, A., X. Shi, C. B. Wenger and E. R. Nadel. Effect of temperature and baroreceptor stimulation on reflex venomotor responses. J. Appl. Physiol.; 57: 1384-1392, 1984.

161. Tsintzas, O. K., C. Williams, R. Singh, W. Wilson and J. Burrin. Influence of carbohydrate-electrolyte drinks on marathon running performance. Eur. J. Appl. Physiol.; 70: 154, 1995.

162. Tsintzas, O. K., C. Williams, W. Wilson and J. Burrin. Influence of the carbohydrate supplementation early in exercise on endurance running capacity. Med. Sci. Sports Exerc.; 28: 1373, 1996.

163. Twerenbold, R., B. Knechtle, T. H. Kakebeeke et al. Effects of different sodium concentrations in replacement fluids during prolonged exercise in women. Br J Sports Med.; 37: 300–303, 2003.

164. Valtin, J. and J. Schafer. Renal Function, 3rd ed., Little, Brown and Co., Boston, 1995, Chap. 2.

165. Van Beaumont, W., S., Underkofler and S. van Beaumont. Erythrocyte volume, plasma volume and acid-base changes in exercise and heat dehydration. J. Appl. Physiol.; 50: 1255-1262, 1981.

166. Vander, A., J Sherman, D. Luciano and M. Tsakopoulos. Ελληνική Μετάφραση του βιβλίου Human Physiology: Η Φυσιολογία του ανθρώπου, από τους Ν. Γελαδά και Μ. Τσακόπουλου, 8η έκδοση, 2001, Κεφ. 14.

167. Von Duvillard, S. P., W. A. Braun, M. Markofski, R. Beneke, and R. Leithauser. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. Nutrition; 20: 651-656, 2004.

168. Vrijens, D. M. and N. J. Rehrer. Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat. J. Appl. Physiol.; 86: 1847–1851, 1999.

169. Wallace, W. M., K. Goldstein, A. Taylor and T. M. Teree. Thermal dehydration of the rat: distribution of losses among tissues. Am. J. Physiol.; 219: 1544-1548, 1970.

170. Walsh, R. M., T. D. Noakes, J. A. Hawley and S. C. Dennis. Impaired high-intensity cycling performance times at low levels of dehydration. Int J Sports Med.; 15: 392-398, 1994.

171. Waterfield, R. L. The effects of posture on the circulating blood volume. J. Physiol. (Lond.); 72: 110-120, 1931.

172. Webb-Peploe, M. M. and J. T. Shepherd. Responses of superficial limb veins of the dog to changes in temperature. Cir. Res.; 22: 737-746, 1968.

173. Wenger, C. B., L. A. Stephenson and M. A. Durkin. Effects of nerve block on response of forearm to local temperature. J. Appl. Physiol.; 61: 227-232, 1986.

174. Wigg, H. and R. K. Reed. Volume-pressure relationship (compliance) of interstitium in dog skin and muscle. Am. J. Physiol.; 253 (Heart Circ. Physiol. 22): H291-H298, 1987.

175. Williams, M. H. Ελληνική μετάφραση του Nutrition for Health, Fitness & Sport: Διατροφή, Υγεία, Ευρωστία και Αθλητική Απόδοση, από τον Λ. Συντώση, 1η έκδοση, 2003, Κεφ 9.

176. Winslow, C., L. P. Herrington and A. P. Gagge. Physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. Am. J. Physiol.; 120: 1-22, 1937.

177. Yawata, T., T. Okuno, H. Nose and T. Morimoto. Change in salt appetite due to rehydration level in rats. Physiol. Behav.; 40: 363-368, 1987.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Χ Α Ρ Ο Κ Ο Π Ε Ι Ο Π Α Ν Ε Π Ι Σ Τ Η Μ Ι Ο

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΣΥΜΦΩΝΗΤΙΚΟ ΕΘΕΛΟΝΤΙΚΗΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ

ΕΓΩ, Ο ……
ΚΑΤΟΙΚΟΣ ……...
ΜΕ ΤΟ ΠΑΡΩΝ ΕΓΓΡΑΦΟ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΩ ΚΑΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΩ ΤΑ ΑΚΟΛΟΥΘΑ:

Με το παρών έγγραφο δηλώνω την εθελοντική συμμετοχή μου στην ερευνητική μελέτη με τίτλο «Η επίδραση της διαιτητικής πρόσληψης νατρίου στην ομοιόσταση των σωματικών υγρών, στην ηλεκτρολυτική ισορροπία και στη νευρομυϊκή λειτουργία κατά τη διάρκεια άσκησης χαμηλής έντασης», η οποία θα διεξαχθεί στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο από το δρ. Κάβουρα Σταύρο και το δρ. Συντώση Λάμπρο.

Κατανοώ ότι πριν αρχίσουν οι πειραματικές μετρήσεις θα παρακολουθήσω μια προφορική σύντομη επεξήγηση των πιθανών κινδύνων και των πλεονεκτημάτων από τη συμμετοχή μου στη μελέτη. Εάν τελικά επιλέξω να συμμετάσχω στη μελέτη θα συμπληρώσω ένα ερωτηματολόγιο σχετικό με το ιατρικό ιστορικό μου και το ιστορικό αλλεργιών.

Η μελέτη θα εξετάσει την επίδραση της πρόσληψης μικρής ποσότητας νατρίου στην υδατική και ηλεκτρολυτική ισορροπία κατά τη διάρκεια άσκησης μέτριας έως υψηλής έντασης, η οποία θα έχει ως στόχο τη μείωση των επιπέδων σωματικού νερού και ηλεκτρολυτών. Η συμμετοχή μου θα συνίσταται από πέντε συνολικά επισκέψεις στο Εργαστήριο Διατροφής και Κλινικής Διαιτολογίας του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

Η πρώτη επίσκεψη θα αφορά τη μέτρηση της σύστασης σώματος με τη μέθοδο απορρόφησης με ακτίνες Χ διπλής ενέργειας (Dual-Energy X-Ray Absorptiometry, DXA) διάρκειας περίπου 20 λεπτών.

Το πείραμα θα περιλαμβάνει μια φάση στην οποία θα ασκούμαι σε δαπεδοεργόμετρο και κυκλοεργόμετρο εναλλάξ για 180 λεπτά και σε σχετικά μικρή ένταση (45% - 70% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου εναλλάξ). Στη συνέχεια θα πρέπει να εκτελέσω ισοκινητική άσκηση, η οποία θα έχει ως στόχο τη μείωση των αποθεμάτων μυϊκού γλυκογόνου. Η διάρκεια της φάσης αυτής θα είναι 20 λεπτά. Τέλος θα ακολουθήσει ένα τρίτο σετ άσκησης στο δαπεδοεργόμετρο, σε σχετικά χαμηλή ταχύτητα και υπό κλίση, διάρκειας 45 λεπτών. Σε κάθε πείραμα, η άσκηση θα διακόπτεται σε τακτά χρονικά διαστήματα για τη μέτρηση του σωματικού μου βάρους και οι απώλειες υγρών που προσδιορίζονται με βάση τη μεταβολή του σωματικού μου βάρους θα

αναπληρώνονται με την αντίστοιχη κατανάλωση ενός από τα υπό εξέταση διαλύματα.
Τα διαλύματα αυτά, τα οποία θα μου χορηγηθούν με τυχαία σειρά, ένα σε κάθε πείραμα είναι τα παρακάτω:

1. Νερό, με γλυκαντικές ουσίες και χρωματισμένο (εικονική δοκιμή, placebo)
2. Μεταλλικό νερό, μικρής περιεκτικότητας σε νάτριο
3. Διάλυμα το οποίο θα περιέχει μικρή περιεκτικότητα σε νάτριο (30 mmol/L) και γλυκόζη
4. Διάλυμα το οποίο θα περιέχει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο (90 mmol /L) και γλυκόζη

Η όλη διαδικασία κάθε δοκιμής διαρκεί περίπου τέσσερις ώρες.

Κατανοώ ότι οφείλω να μην καταναλώσω αλκοόλ, καφεΐνη ή οποιαδήποτε φάρμακα για 24 ώρες πριν από κάθε δοκιμασία. Επίσης οφείλω να μην καταναλώσω οποιοδήποτε τρόφιμο 10-12 ώρες πριν από κάθε δοκιμασία.

ΚΑΤΑΝΟΩ ΟΤΙ Η ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΑ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΤΑ ΑΚΟΛΟΥΘΑ:

Ι. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

Κατανοώ ότι τα ακόλουθα φυσικά χαρακτηριστικά θα μετρηθούν και θα καταγραφούν: ηλικία, ύψος και σωματικό βάρος. Η σωματική σύσταση θα μετρηθεί με απορρόφηση ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DXA). Η μέθοδος αυτή συνίσταται από τη σάρωση ολόκληρης της επιφάνειας του σώματος, πάνω από τα ρούχα μου, με ακτίνες Χ δύο διακριτών ενεργειακών επιπέδων, προκειμένου να μετρηθεί η απορρόφηση από το σώμα, η οποία αντιστοιχίζεται σε σωματικό λίπος και άλιπη μυϊκή και σκελετική μάζα σώματος. Η μέτρηση αυτή διαρκεί περίπου 20 λεπτά, ενώ μετά την ολοκλήρωσή της θα μπορώ να ενημερωθώ, εάν το επιθυμώ, για τη σωματική μου σύσταση και την οστική μου πυκνότητα.

ΙΙ. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΙΜΑΤΟΣ

Κατανοώ ότι σε κάθε μία από τις τέσσερις δοκιμές ένας αποστειρωμένος καθετήρας θα τοποθετηθεί σε μία επιφανειακή φλέβα του χεριού από ένα έμπειρο άτομο. Ο καθετήρας αυτός θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αίματος κατά την έναρξη και στο τέλος του πειράματος, όπως επίσης και σε τακτά μεσοδιαστήματα. Συνολικά θα πραγματοποιηθούν οκτώ λήψεις αίματος σε κάθε δοκιμή. Τα δείγματα αίματος θα χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των ακόλουθων παραμέτρων: γλυκόζη, γαλακτικό οξύ, αιματοκρίτης, αιμοσφαιρίνη, ηλεκτρολύτες (νάτριο και κάλιο), ωσμωτικότητα πλάσματος και αλδοστερόνη. Η συνολική λήψη αίματος για την ολοκλήρωση του πειράματος είναι περίπου 100 mL αίματος σε διάστημα 4 ή περισσότερων εβδομάδων που ισοδυναμεί με το ένα πέμπτο μίας αιμοδοσίας.

III. ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΥΡΩΝ

Κατανοώ ότι σε κάθε μία δοκιμασία θα γίνεται συλλογή ούρων τρεις φορές, μία κατά την άφιξή μου στο εργαστήριο, μία έπειτα από τις 3 πρώτες ώρες άσκησης και μία στο τέλος κάθε πειράματος. Τα δείγματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό του όγκου των ούρων και του ειδικού βάρους, της ωσμωτικότητας και της περιεκτικότητας σε ηλεκτρολύτες (νάτριο και κάλιο).

IV. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

Κατανοώ ότι κατά τη διάρκεια κάθε δοκιμασίας θα πρέπει να αναφέρω τις υποκειμενικές μου εκτιμήσεις όσων αφορά το αίσθημα της δίψας, το βαθμό δυσκολίας της άσκησης και τον πόνο ή την εμφάνιση κραμπών κατά τη διάρκεια της άσκησης. Ο προσδιορισμός των εκτιμήσεων αυτών θα γίνει με τη βοήθεια μιας κλίμακας για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους.

ΔΗΛΩΝΩ ΟΤΙ ΚΑΤΑΝΟΩ ΤΑ ΑΚΟΛΟΥΘΑ:

1. Την ημέρα κάθε δοκιμής θα βρίσκομαι στο εργαστήριο στις 8:00 π.μ. σε κατάσταση φυσιολογικής υδάτωσης, χωρίς να έχω προπονηθεί έντονα για 24 ώρες. Κατανοώ πως δε θα πρέπει να έχω καταναλώσει αλκοόλ, φάρμακα ή ποτά που περιέχουν καφεΐνη τις προηγούμενες 24 ώρες.
2. Αφού δώσω ένα δείγμα ούρων, θα γίνει μέτρηση του σωματικού μου βάρους και θα καθίσω σε μια καρέκλα για 30 λεπτά.
3. Στη συνέχεια θα τοποθετηθεί ένας καθετήρας σε μια επιφανειακή φλέβα του χεριού μου και μετά από 15 λεπτά θα γίνει η πρώτη λήψη αίματος.
4. Θα ακολουθήσει το πρώτο σετ άσκησης, στο οποίο η άσκηση θα εναλλάσσεται σε δαπεδοεργόμετρο και κυκλοεργόμετρο, με μεσοδιαστήματα στα οποία θα καταναλώνω τα υπό εξέταση διαλύματα σε ποσότητες οι οποίες θα είναι ανάλογες με τη μείωση του σωματικού μου βάρους κατά τη διάρκεια της άσκησης.
5. Στο τέλος του πρώτου σετ άσκησης θα γίνει νέα συλλογή αίματος και ούρων και νέα μέτρηση του σωματικού μου βάρους. Και στη φάση αυτή θα καταναλώσω ποσότητα από τα εξεταζόμενα διαλύματα ίση με τη μείωση του σωματικού μου βάρους.
6. Θα ακολουθήσει το δεύτερο σετ άσκησης, όπου θα πραγματοποιηθούν οι ίδιες μετρήσεις, όπως και στο πρώτο σετ.
7. Στο τρίτο σετ άσκησης θα πραγματοποιηθούν οι ίδιες μετρήσεις, με τη διαφορά ότι θα ληφθούν δύο δείγματα αίματος και κατά τη διάρκεια της άσκησης, ενώ παράλληλα θα πρέπει να αναφέρω και τις υποκειμενικές μου εκτιμήσεις σε παραμέτρους που σχετίζονται με την αντίληψή μου για τη δυσκολία της άσκησης, την πληρότητα του στομάχου και τον πόνο που αισθάνομαι στα πόδια ή την εμφάνιση κραμπών.

ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ

1. Κατανοώ ότι η αξιολόγηση της σωματικής σύστασης με τη μέθοδο DXA εκλύει ακτινοβολία πολύ μικρής ισχύος που ισούται με το 1/100 της ακτινοβολίας μιας ακτινογραφίας θώρακος ή λιγότερο από μία αεροπορική πτήση 4-5 ωρών.
2. Κατανοώ ότι η ενόχληση από τις αιμοληψίες είναι ελάχιστη. Κατανοώ πως σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να δημιουργηθεί μελανιά ή λοίμωξη στην περιοχή τοποθέτησης του καθετήρα, κάτι το οποίο μπορεί να προκαλέσει πόνο, παρά το ότι η εισαγωγή του καθετήρα θα γίνει από ειδικευμένο άτομο και σε συνθήκες ασηψίας. Γνωρίζω ότι ο ελαστικός αυτός καθετήρας θα παραμείνει στο χέρι μου για περίπου 3 ώρες σε κάθε δοκιμή. Κατανοώ ότι ένα διάλυμα φυσιολογικού ορού με μια ελάχιστη ποσότητα ηπαρίνης (διάλυμα 20 μονάδων/mL, το οποίο είναι περίπου το 1% της ποσότητας που χρησιμοποιείται στην κλινική πρακτική) είναι αποτελεσματικό για τη διατήρηση του καθετήρα ανοιχτού, προλαμβάνοντας, σχεδόν πάντα, τη δημιουργία θρόμβου στο άκρο του καθετήρα.
3. Κατανοώ ότι οι δοκιμασίες άσκησης θα είναι εξαντλητικές, και επομένως υπάρχει η πιθανότητα συγκεκριμένων επεισοδίων κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμασιών. Τα επεισόδια αυτά περιλαμβάνουν ζάλη, λιποθυμία, ναυτία και διαταραχές της καρδιακής συχνότητας. Κατανοώ πως θα γίνει ότι είναι δυνατό προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν αυτοί οι κίνδυνοι μέσω ελέγχου του ιατρικού μου ιστορικού και με ιατρική εξέταση πριν την έναρξη της μελέτης, καθώς και μέσω συνεχούς επίβλεψης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

ΣΥΝΟΨΗ

1. Κατά την άποψή μου έχω λάβει επαρκή ενημέρωση για: α) τη φύση, τη διάρκεια και το σκοπό της μελέτης, β) τα μέσα με τα οποία θα διεξαχθεί η μελέτη και γ) κάθε πιθανή ενόχληση, κινδύνους και παρενέργειες για την υγεία μου που θα μπορούσαν να προκύψουν από τη συμμετοχή μου στη μελέτη.
2. Κατανοώ ότι οποιαδήποτε ερωτήματα που αφορούν οποιαδήποτε διαδικασία και τα πειράματα θα απαντηθούν πλήρως από τους δρ. Κάβουρα Σταύρο (210 954-9173) και δρ. Συντώση Λάμπρο (210 954-9154).
3. Γνωρίζω ότι διατηρώ το δικαίωμα να αποσύρω την αποδοχή συμμετοχής μου στη μελέτη και να διακόψω τη συμμετοχή μου, χωρίς προκατάληψη, ανεξάρτητα από το στάδιο της έρευνας. Επίσης κατανοώ ότι η συμμετοχή

μου στη μελέτη μπορεί να τερματισθεί σε οποιαδήποτε φάση από τους υπεύθυνους της μελέτης.

4. Οποιαδήποτε πληροφορία που αφορά εμένα και αποτελέσματα εξετάσεών μου τα οποία θα προκύψουν κατά τη διάρκεια της μελέτης θα παραμείνουν **απόρρητα** και δε θα δημοσιευθούν ονομαστικά σε οποιαδήποτε δημοσίευση προκύψει από τη συγκεκριμένη μελέτη.
5. Εγώ, ο υπογραφόμενος, κατανοώ τις παραπάνω εξηγήσεις και δίνω τη συναίνεσή μου για την εθελοντική συμμετοχή μου στη μελέτη αυτή από το δρ. Κάβουρα Σταύρο και το δρ. Συντώση Λάμπρο.
6. Η ηλικία μου είναι …… Η ημερομηνία γέννησής μου είναι …./…./19….. Δηλώνω ότι υπογράφω αυτό το Συμφωνητικό Εθελοντικής Συμμετοχής με ελεύθερη βούληση.
7. Η σημερινή ημερομηνία είναι …./…./2005.

Το παρόν υπογράφηκε υπό την παρουσία μου, καθώς και την παρουσία των ακολούθων:

Ο εθελοντής

(όνομα και υπογραφή)

Ο μάρτυρας

(όνομα και υπογραφή)

Ο ερευνητής

(όνομα και υπογραφή)

ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ / ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΑΛΛΕΡΓΙΩΝ
ΚΑΙ ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ

Ονοματεπώνυμο: .....
Ημερομηνία: ...../...../.....
Διεύθυνση: .....
Τηλέφωνα: .....

1. ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΗ ΑΓΩΓΗ

Καταγράψτε τα φάρμακα που ενδεχομένως καταναλώνετε:

Φάρμακα	*Αιτιολογία*
.....	.....
.....	.....
.....	.....

Έχετε κάποια αλλεργία σε κάποιο φάρμακο; Εξηγήστε:
.....
.....

Έχετε κάποιες άλλες αλλεργίες; Εξηγήστε:
.....
.....

2. ΝΟΣΗΛΕΙΕΣ

Καταγράψτε ενδεχόμενες νοσηλείες σε νοσοκομείο στο παρελθόν:

Έτος	Αιτιολογία	Νοσοκομείο
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

3. ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΥΓΕΙΑΣ

Καταγράψτε ενδεχόμενες χρόνιες ασθένειες για τις οποίες αναζητήσατε ιατρική φροντίδα:
.....
.....
.....

Είχατε ποτέ στο παρελθόν (ή έχετε τώρα) μία από τις παρακάτω ασθένειες;

Τσεκάρετε *ναι* ή *όχι* για κάθε ασθένεια.

	ΝΑΙ	ΟΧΙ
σακχαρώδης ή άποιος διαβήτης	☐	☐
μεταλλικά εμφυτεύματα	☐	☐
νεφρική νόσος	☐	☐
μεταβολικά νοσήματα	☐	☐
καρδιολογικά προβλήματα	☐	☐
επιληψία	☐	☐
ίλιγγος / λιποθυμικά επεισόδια	☐	☐
άσθμα	☐	☐
χρόνιοι πονοκέφαλοι	☐	☐
χρόνιος βήχας ή ιγμορίτιδα	☐	☐
υπέρταση	☐	☐
καρδιακή προσβολή	☐	☐
υψηλή χοληστερόλη ορού	☐	☐
ρευματοειδής πυρετός	☐	☐
εμφύσημα	☐	☐
βρογχίτιδα	☐	☐
ηπατίτιδα	☐	☐
φυματίωση	☐	☐
ίκτερος	☐	☐
αναιμία	☐	☐
προβλήματα θυρεοειδή αδένα	☐	☐
προβλήματα γαστρεντερικού	☐	☐
αρθρίτιδα	☐	☐

άλλες ασθένειες (καθορίστε ποιες)
.....
.....
.....

Αισθάνεστε ποτέ πόνο στο στήθος; ☐ ναι ☐ όχι

Έχετε ποτέ ταχυκαρδία; ☐ ναι ☐ όχι

Αισθάνεστε ποτέ ναυτία ή εμετούς; ☐ ναι ☐ όχι

Αισθάνεστε ποτέ δυσκολία στην αναπνοή; ☐ ναι ☐ όχι

Έχετε ποτέ άπνοια όταν κάθεστε, όταν γυμνάζεστε ή κατά τη διάρκεια του ύπνου; ☐ ναι ☐ όχι

4. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΝΟΣΟΙ

Έχετε ποτέ πάθει θερμικές κράμπες, θερμική εξάντληση, θερμοπληξία ή θερμική συγκοπή; Αν ναι, πότε; Εξηγήστε:
.....
.....
.....

Πόσο καλά ανέχεστε τις θερμές περιβαλλοντικές συνθήκες; Εξηγήστε:
.....
.....
.....

Πόσο καλά ανέχεστε την άσκηση σε θερμές περιβαλλοντικές συνθήκες; Εξηγήστε:
.....
.....
.....

5. ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Τι είδους προπόνηση κάνετε; .....

Πόσες φορές την εβδομάδα προπονείστε; .....

Πόσες ώρες διαρκεί η προπόνησή σας; .....

Προπονήστε με βάρη; ☐ ναι ☐ όχι

Αν ναι, πόσες φορές την εβδομάδα; .....

Έχετε παρατηρήσει κάποια μεταβολή στο σωματικό σας βάρος τον τελευταίο μήνα;

☐ ναι ☐ όχι

Αν ναι, καθορίστε πόσο .....κιλά
*(σημειώστε **+** για αύξηση σωματικού βάρους και **–** για μείωση)*

Δοκιμαζόμενος # :____ Χρόνος:_____

Δοκιμή: 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

Πόσο διψασμένος αισθάνεσαι τώρα;

καθόλου | **Υπερβολικά διψασμένος**

Δοκιμαζόμενος # :____ Χρόνος:_____

Δοκιμή: 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

Πόσο πλήρες αισθάνεσαι το στομάχι σου τώρα;

καθόλου | **Υπερβολικά πλήρες**

Δοκιμή: 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

Δοκιμαζόμενος # :____ Χρόνος:_____

Πόσο ξηρό αισθάνεσαι το στόμα σου τώρα;

καθόλου | **Υπερβολικά ξηρό**

Δοκιμαζόμενος # :____ Χρόνος:_____

Δοκιμή: 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐

Πόσο ευχάριστη θεωρείτε τη γεύση του ποτού που πίνετε;

καθόλου | **Υπερβολικά ευχάριστη**