

Η επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης στην ποδηλατική απόδοση σε θερμό περιβάλλον

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ



Μαρκούση Μαρία- Αικατερίνη
Dp: 4421021

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή: Σταύρος Κάβουρας
Λάμπρος Συντώσης
Ρωξάνη Τέντα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ:

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Σταύρο Κάβουρα που με εμπιστεύτηκε και με βοήθησε όχι μόνο προκειμένου να διεκπεραιώσω με επιτυχία την παρούσα πτυχιακή αλλά και προκειμένου να γνωρίσω τον συναρπαστικό κόσμο της εργοφυσιολογίας. Είχα την τύχη να συμμετέχω σε μία μελέτη που αφορούσε αθλητές και η εμπειρία αυτή ήταν μοναδική!

Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Μάρδη Κωνσταντίνο ο οποίος με βοήθησε με πολύ υπομονή και επιμονή δείχνοντας μου όλα αυτά τα οποία σε εμένα ήταν πρωτόγνωρα όλες αυτές τις στιγμές που βρέθηκα μετέωρη και μπερδεμένη.

Τέλος και εφόσον η ψυχική και η ψυχολογική υποστήριξη αποτελεί πάντα ακρογωνιαίο λίθο σε κάθε οργανωμένη προσπάθεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που πάντα βρίσκεται στήριγμα μου σε ό,τι και αν κάνω.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Τα επίπεδα υδάτωσης έχει φανεί μέσω μελετών ότι συμβάλουν σημαντικά στην βελτίωση της αθλητικής απόδοσης. Όταν η αφυδάτωση υπερβαίνει το 2% του Σωματικού Βάρους των αθλητών επιδρά αρνητικά στην αθλητική απόδοση. Παρόλα αυτά, οι επιδράσεις της ήπιας αφυδάτωσης (<2%) στους αθλητές δεν είναι ακόμα πλήρως εξακριβωμένες. **Σκοπός:** Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αξιολογήσει την επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης σε επαναλαμβανόμενες ανηφορικές δοκιμασίες κατά τη διάρκεια ενός circuit ποδηλασίας σε θερμό περιβάλλον (32.5 ± 0.5 °C). **Μεθοδολογία:** Δέκα καλά προπονημένοι άνδρες αθλητές (ηλικία: 30 ± 7 ετών, βάρος: 78.4 ± 9.5 κιλά, ύψος: 1.8 ± 0.01 μέτρα, Μέγιστη Πρόσληψη Οξυγόνου: 52.4 ± 3.3 ml*min-1kg-1 και Μέγιστη ισχύ: 355 ± 29 Watt) πραγματοποίησαν ένα προπονητικό circuit τριών τμημάτων σε εργαστήριο. Το circuit αποτελούνταν από 5 χιλιόμετρα στο 50% της μέγιστης πρόσληψης Οξυγόνου και 5 χιλιόμετρα όπου οι αθλητές καλούνταν να ποδηλατήσουν με ρυθμούς αγώνα. Ακολουθούσαν 5 λεπτά χαλάρωσης έπειτα από κάθε 5 χιλιόμετρα. Οι εθελοντές ξεκινούσαν τη δοκιμασία είτε όντας πλήρως ενυδατωμένοι (EUH) είτε όντας αφυδατωμένοι (DEH) στο 1% του Σωματικού τους Βάρους. **Αποτελέσματα:** Ο χρόνος ολοκλήρωσης του ανηφορικού τμήματος της δοκιμασίας ήταν στατιστικά μικρότερος στους ενυδατωμένους αθλητές (10.28 ± 1.3 , 10.97 ± 1.28 , 11.32 ± 1.73) έναντι των αφυδατωμένων αθλητών (11.25 ± 1.28 , 11.72 ± 1.78 , 11.83 ± 1.85) και $P < 0.05$). Στην εσωτερική θερμοκρασία των αθλητών παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων και στις τρεις ανηφορικές διαδρομές με την ομάδα των αφυδατωμένων αθλητών (38.3 ± 0.4 °C, 38.4 ± 0.2 °C, 38.6 ± 0.2 °C) να εμφανίζει στατιστικά υψηλότερη εσωτερική θερμοκρασία σε σχέση με τους ενυδατωμένους αθλητές (38.1 ± 0.3 °C, 38.1 ± 0.3 °C, 38.3 ± 0.3 °C) ($P \leq 0.05$). Όσον αφορά το ποσοστό της αφυδάτωσης η ομάδα των ενυδατωμένων αθλητών ολοκλήρωσε τη δοκιμασία με ποσοστό αφυδάτωσης 0,6% και τυπική απόκλιση $\pm 0,1\%$ και η ομάδα της ήπιας αφυδάτωσης ολοκλήρωσε τη δοκιμασία με μέσο όρο 1,7% αφυδάτωση και τυπική απόκλιση $\pm 0,1\%$. Δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων στην καρδιακή συχνότητα και στο ποδηλατικό στροφάλισμα. **Συμπέρασμα:** Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι η ήπια αφυδάτωση μειώνει την ποδηλατική απόδοση σε θερμό περιβάλλον, πιθανά μέσω της πρόκλησης μεγαλύτερης θερμικής φόρτισης.

ABSTRACT:

Studies have shown that dehydration status significantly contributes to a higher efficiency. Dehydration exceeding 2% of body weight decreases exercise performance. However, the effects of mild dehydration (<2%) are not clear. Purpose: Aim of this study was to determine the effects of mild dehydration on repeated hill cycling performance during a circuit course in a warm environment (32.5 ± 0.5 °C). Methods: Ten well-trained male cyclists (age: 30 ± 7 years, weight: 78.4 ± 9.5 kg, height: 1.80 ± 0.01 m, VO_{2max} : 52.4 ± 3.3 ml·min⁻¹·kg⁻¹ and Powermax: 355 ± 29 W) performed a circuit three times on a laboratory ergometer. The circuit consisted of 5 km at 50% of max power output and 5 km of hill cycling at a race pace, followed by a 5 min rest every 5 km. Subjects started the performance test either euhydrated (EUH) or dehydrated (DEH), by 0 ± 0 % and -1.0 ± 0.1 % respectively. Results: The time of completion for hill trial was statistically lower in the EUH team (10.28 ± 1.3 , 10.97 ± 1.28 , 11.32 ± 1.73) than the DEH αθλητών (11.25 ± 1.28 , 11.72 ± 1.78 , 11.83 ± 1.85) and $P < 0.05$). Core temperature at the end of the 1st, 2nd and 3rd 5km of the three hill cycling bouts was higher in the DEH (38.3 ± 0.4 °C, 38.4 ± 0.2 °C, 38.6 ± 0.2 °C) than in the EUH trial (38.1 ± 0.3 °C, 38.1 ± 0.3 °C, 38.3 ± 0.3 °C) and ($P < 0.05$). As far as, the percentage of hydration is concerned the EUH team completed the test with hydration level 0.6% and standard deviation $\pm 0.1\%$ while on the other hand the DEH team completed the test with dehydration level 1.7% and standard deviation $\pm 0.1\%$. No statistical differences were found among teams concerning heart rate and RPM. Conclusion: This study showed that mild dehydration decreased cycling performance in a hot environment, possibly by inducing a greater thermal load.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΕΡΟ

- 1.1. Γενικά για το νερό
- 1.2. Διαμερισματοποίηση του νερού στον ανθρώπινο οργανισμό
- 1.3. Η αναγκαιότητα του νερού
- 1.4. Οδοί απώλειας των υγρών από το ανθρώπινο σώμα
 - 1.4.1. Απώλεια νερού μέσω του δέρματος
 - 1.4.2. Απώλεια νερού μέσω της αναπνευστικής οδού
 - 1.4.3. Απώλεια νερού μέσω των νεφρών
 - 1.4.4. Απώλεια νερού μέσω της γαστρεντερικής οδού
- 1.5. Αφυδάτωση
- 1.6. Περιβάλλον & Αφυδάτωση
- 1.7. Θερμικές διαταραχές
- 1.8. Αφυδάτωση & Ανθρώπινες λειτουργίες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

- 2.1. Αθλητική απόδοση και απαιτήσεις σε υγρά
- 2.2. Ο ρόλος και η αναγκαιότητα του νερού στην αθλητική απόδοση
 - 2.2.1. πριν την έναρξη της άσκησης
 - 2.2.2. κατά τη διάρκεια της άσκησης
 - 2.2.3. Κατά την αποκατάσταση
- 2.3. Αφυδάτωση και Αθλητική απόδοση
 - 2.3.1. Αύξηση καρδιαναπνευστικού τόνου
 - 2.3.2. Αύξησης θερμικής επιβάρυνσης
 - 2.3.3. Μεταβολή της λειτουργίας του ΚΝΣ
 - 2.3.4. Μεταβολικές μεταβολές
- 2.4. Αφυδάτωση σε Αθλήματα Αντοχής
- 2.5. Ήπια αφυδάτωση σε Αθλήματα Αντοχής

2.6. Ακούσια αφυδάτωση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Δείγμα

3.2. Πρωτόκολλο μελέτης

3.3. Στατιστική ανάλυση

3.4. Σκοπός μελέτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΕΡΟ

1.1. Γενικά για το νερό

Το νερό αποτελεί απαραίτητο αγαθό για τη ζωή. Ο ανθρώπινος οργανισμός έχει μηχανισμούς που επιτρέπουν την ομαλή λειτουργία του ακόμα και σε συνθήκες αφυδάτωσης 0.2-0.5% του σωματικού του βάρους. Χαρακτηριστικό είναι επίσης το γεγονός ότι ο άνθρωπος μπορεί να διατηρηθεί στη ζωή ακόμα και μετά από ασιτία διάρκειας 60-70 ημερών ενώ η αποχή από τα υγρά πάνω από 4-5 ημέρες δεν μπορεί να συμβαδίσει με τη ζωή(1, 2). Το νερό περιέχεται στις υγρές και τις στερεές τροφές. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις ΗΠΑ αναφέρεται ότι το 22% του προσλαμβανόμενου νερού παρέχεται μέσω των στερεών τροφών ποσοστό που αυξάνεται στην χώρα μας λόγω του Μεσογειακού τύπου διατροφής και άρα της υψηλότερης πρόσληψης φρούτων και λαχανικών.

Το νερό αποτελεί απαραίτητο αγαθό στον ανθρώπινο οργανισμό για τον μεταβολισμό, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας και πληθώρας άλλων φυσιολογικών διαδικασιών που συνδέονται με τη διατήρηση της υγείας. Το νερό αποτελεί απαραίτητο διαλύτη για τις κυτταρικές και τις μεταβολικές αντιδράσεις και διευκολύνει τη θερμική ισορροπία στα κύτταρα. Η κατανάλωση νερού αποτελεί απαραίτητη διαδικασία καθώς η ποσότητα του νερού που χάνεται μέσω των μεταβολικών διαδικασιών υπερβαίνει τη ποσότητα αυτού που συντίθεται στο σώμα (1, 3, 4). Η δυνατότητα του οργανισμού να κατανέμει το νερό στα σωματικά διαμερίσματα μειώνει την πιθανότητα αφυδάτωσης(4).

1.2. Διαμερισματοποίηση του νερού στον ανθρώπινο οργανισμό

Το νερό στο ανθρώπινο σώμα δεν έχει σταθερή συγκέντρωση ενώ η συγκέντρωση αυτού μεταβάλλεται με το πέρας της ηλικίας. Έτσι, το νερό στα βρέφη καταλαμβάνει το 85% του συνολικού σωματικού τους βάρους ενώ στους ηλικιωμένους μειώνεται στο 55% (4). Όσον αφορά τους ενήλικες έχει φανεί ότι οι άνδρες και οι αθλητές έχουν υψηλότερα ποσοστά υγρών σε σχέση με τις γυναίκες και τους μη αθλητές αντίστοιχα γεγονός που σχετίζεται με τα υψηλότερα ποσοστά μυϊκού ιστού και τα αντίστοιχα χαμηλότερα ποσοστά λίπους (5, 6).

Το συνολικό νερό του σώματος καταλαμβάνει περίπου το 63.3% του συνολικού σωματικού βάρους (≈ 0.6 L/kg BM). Το νερό διαμερισματοποιείται μεταξύ του ενδοκυττάριου και του εξωκυττάριου χώρου. Το εξωκυττάριο υγρό αποτελεί περίπου το 24.9% του συνολικού σωματικού βάρους (ΣΒ) (≈ 0.2 L/kg) ενώ το ενδοκυττάριο υγρό αποτελεί περίπου το 38.4% του ΣΒ (≈ 0.4 L/kg)(3). Η διακύμανση που παρουσιάζεται στους ενήλικες είναι της τάξης ± 0.2 - 0.5% του σωματικού βάρους ενώ σε δραστήριους ενήλικες μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ $\pm 1\%$ του σωματικού τους βάρους(7).

Το νερό βρίσκεται σε όλα τα όργανα του ανθρώπινου σώματος και λειτουργεί ως λιπαντικό(1). Αποτελεί το 80-84% των μυών, του ήπατος και των νεφρών ενώ ο εγκέφαλος αποτελείται από 85% νερό και τα οστά από 10-15% (4).

1.3. Η αναγκαιότητα του νερού

Απαιτούνται ακριβείς και αξιόπιστες μέθοδοι προκειμένου να εκτιμηθεί η διαμερισματοποίηση των υγρών στο ανθρώπινο σώμα λόγω:

1. Συνεχής απώλεια νερού από το ανθρώπινο σώμα μέσω των νεφρών, δέρματος και πνευμόνων.
2. Ακόμα και σε καταστάσεις ενυδάτωσης υπάρχει συνεχής μετακίνηση νερού εντός και εκτός των κυττάρων και μέσω τις κυκλοφορίας.
3. Σε καταστάσεις έντονης φυσικής δραστηριότητας και θερμικών αλλαγών η απώλεια υγρών μέσω του ιδρώτα μπορεί να αυξηθεί 2-6 φορές παραπάνω σε σχέση με την διαμονή σε ένα περιβάλλον ήπιας θερμοκρασίας.
4. Σε αθλήματα όπου υπάρχει κατηγοριοποίηση βάσει του βάρους οι αθλητές μπορεί να εμφανίσουν τόσο χαμηλές συγκεντρώσεις αιματοκρίτη που χαρακτηρίζονται ως παθολογικές.
5. Συγκεκριμένες παθήσεις διαταράσσουν την ισορροπία των υγρών και των ηλεκτρολυτών άμεσα αλλά και χρόνια.
6. Ανεπαρκή ή/ και υπερβολική πρόσληψη υγρών μέσω της διατροφής μπορεί να οδηγήσει σε ποικιλία κυτταρικών διαταραχών.
7. Η υπερβολική κατανάλωση νερού μπορεί να οδηγήσει σε ένα φαινόμενο γνωστό ως υπονατριαιμία- μέθη από νερό.

8. Η περιεκτικότητα του ανθρώπινου οργανισμού σε νερό ποικίλει στα διάφορα στάδια ηλικίας .
9. Η αυξημένη πρόσληψη αλατιού και τροφών πλούσιων σε πρωτεΐνη αυξάνει και τις ανάγκες του οργανισμού σε νερό για την διατήρηση του οσμωτικού ισοζυγίου.
10. Ήπια αφυδάτωση (1-2%) μπορεί να μειώσει την αθλητική απόδοση, τις γνωστικές λειτουργίες και την επαγρύπνηση. (1, 3).

1.4. Οδοί απώλειας υγρών από το ανθρώπινο σώμα

Οι οδοί απώλειας νερού από τον ανθρώπινο οργανισμό αποτελούν το δέρμα, η αναπνευστική οδός, τα νεφρά και η γαστρεντερική οδός.

1.4.1. Απώλεια νερού μέσω του δέρματος

Η απώλεια νερού διαμέσου της εξάτμισης γίνεται μέσω της αναπνοής (άδηλη απώλεια ≈ 450 ml ημερησίως) και μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα(7). Η εφίδρωση αποτελεί την κύρια οδό απώλειας νερού μέσω του δέρματος. Αυξάνεται σε οποιαδήποτε μορφής άσκηση ή και θερμική καταπόνηση. Κατά την αύξηση της θερμοκρασίας οι ιδρωτοποιοί αδένες εκκρίνουν νερό και έτσι το σώμα δροσίζεται και μειώνεται η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος. Η εφίδρωση αποτελεί την πρωτογενή οδό απώλειας θερμότητας. Για δεδομένες θερμές συνθήκες η εφίδρωση εξαρτάται από την ένταση- διάρκεια της σωματικής δραστηριότητας. Άτομα που ζουν σε θερμά κλίματα έχουν ιδιαίτερα αυξημένες απώλειες λόγω εφίδρωσης. Ο ημερήσιος ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από τον μεταβολικό ρυθμό και το περιβάλλον. Επηρεάζεται από τα είδη ένδυσης, την υγρασία, τη θερμοκρασία, την κίνηση του αέρα και το ηλιακό φορτίο(8).

Η απώλεια νερού διαμέσου του ιδρώτα αυξάνεται δραματικά κατά την πραγματοποίηση άσκησης. Προπονημένοι αθλητές μπορεί να εμφανίζουν απώλεια ιδρώτα της τάξης του 1500-2000 ml/h σε θερμό περιβάλλον ή ακόμα και 3000 ml/h. Ακόμα και σε χαμηλότερη θερμοκρασία ($\approx 10^{\circ}\text{C}$) η απώλεια ιδρώτα μπορεί να ξεπερνάει το 1000ml/h (9).

Η σύσταση του ιδρώτα αποτελείται από νερό (99%) και ηλεκτρολύτες όπως κάλιο, νάτριο, χλώριο. Ο ιδρώτας είναι υποτονικός σε σχέση με το πλάσμα που σημαίνει ότι κατά την πραγματοποίηση άσκησης το πλάσμα γίνεται υπερτονικό. Παρόλα αυτά η κατανάλωση υποτονικών ποτών κατά τη διάρκεια της άσκησης μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση υπονατριαιμίας. Κύριες επιπτώσεις της υπονατριαιμίας είναι οι πονοκέφαλοι, τάση για έμετο, πρήξιμο των άκρων, κόπωση, σύγχυση ή ακόμα και εγκεφαλοπάθεια, πνευμονικό οίδημα και θάνατο(8).

1.4.2. Απώλεια νερού μέσω της αναπνευστικής οδού

Η απώλεια νερού μέσω της αναπνευστικής οδού γίνεται λόγω της υγραποίησης του εκπνεόμενου αέρα. Κατά την άσκηση ο εισπνεόμενος αέρας υγραποιείται (10). Ο όγκος του νερού που θα εξατμιστεί εξαρτάται από τον όγκο αερισμού και την κλίση της πίεσης των υδρατμών(11). Η ένταση της άσκησης σε συνθήκες υποξίας και υπερκαπνίας αυξάνει τον όγκο αερισμού ενώ η θερμοκρασία, η υγρασία και η βαρομετρική πίεση μεταβάλλουν την πίεση ατμών με τη σωματική δραστηριότητα να επηρεάζει σε σημαντικότερο βαθμό τις απώλειες. Αναλυτικότερα, σε ένα άτομο με καθιστικό τρόπο ζωής οι καθημερινές απώλειες μέσω της αναπνευστικής οδού κυμαίνονται περί τα 250-350 ml/ day ενώ οι απώλειες αυτές μπορεί να αυξηθούν στα 500-600 ml/ day για ένα δραστήριο άτομο που ζει στο επίπεδο της θάλασσας (Hoyt R.W 1996). Τα αυξημένο υψόμετρο μπορεί να αυξήσει τις απώλειες κατά 200ml/ day περαιτέρω (υψόμετρο πάνω από 4.300μέτρα)(12). Αναφορικά, η εισπνοή ζεστού και ξηρού αέρα κατά τη διάρκεια της άσκησης μπορεί να αυξήσει τις απώλειες σε νερό κατά 120-300ml/ day, ενώ η εισπνοή κρύου και ξηρού αέρα μπορεί να αυξήσει τις απώλειες σε νερό κατά 15-45 ml/ hour (Freund B.J 1996). Καταλήγοντας, οι παράγοντες όπου επηρεάζουν τις απώλειες νερού μέσω της αναπνευστικής οδού είναι: η ένταση φυσικής δραστηριότητας, η θερμοκρασία, η υγρασία, ο πυρετός, ο υπεραερισμός. Γενικότερα, σε χαμηλά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας και σε ήπιες περιαιτολογικές συνθήκες οι απώλειες αυτές δεν ξεπερνούν τα 200ml/ day (13).

1.4.3. Απώλεια νερού μέσω των νεφρών

Το ισοζύγιο μεταξύ εισερχόμενων και εξερχόμενων υγρών ρυθμίζεται μέσω της νεφρικής λειτουργίας. Η παραγωγή ούρων κυμαίνεται κατά μέσο όρο στο 1-2 L/ day ενώ σε συνθήκες υπερβολικής πρόσληψης υγρών μπορεί να φτάσει και τα 20 L/ day και αντίστοιχα σε συνθήκες αφυδάτωσης μπορεί να μην ξεπερνά τα 400 ml/ day (West J. 1990). Η άσκηση και η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να μειώσουν την παραγωγή των ούρων κατά 20-60%(14)

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ: Η ADH (αντιδιουρητική ορμόνη) ενεργοποιείται από αλλαγές στην ωσμωτικότητα και την πίεση. Ακόμα και μικρές αλλαγές στην ωσμωτικότητα αυξάνουν τα επίπεδα της ADH (15). Έτσι, η αυξημένη θερμοκρασία, ο πυρετός, η σωματική δραστηριότητα και η μειωμένη πρόσληψη υγρών αυξάνουν την ωσμωτικότητα και μειώνουν τον όγκο πλάσματος με παράλληλη αύξηση της ADH. Τελικά, έχουμε αυξημένη πρόσληψη υγρών (λόγω της δίψας) και μειωμένη αποβολή ούρων και επαναρρόφηση νερού (λόγω ADH)(16).

1.4.4. Απώλεια νερού μέσω της γαστρεντερικής οδού

Η απώλεια μέσω των κοπράνων είναι περίπου 100-200 ml/ day(17). Το μεγαλύτερο ποσοστό των υγρών που εισέρχεται στο λεπτό έντερο επαναρροφάται εκεί και το υπόλοιπο επαναρροφάται στο παχύ έντερο(16). Οι απώλειες υγρών μέσω του γαστρεντερικού σωλήνα μπορεί να γίνουν σημαντικές σε περιπτώσεις διάρροιας, εμετού ή άλλων γαστρεντερικών διαταραχών με κίνδυνο αφυδάτωσης(18).

1.5. Αφυδάτωση

Η διατήρηση της υδατικής ισορροπίας αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού. Η υδατική ισορροπία μπορεί να απορυθμιστεί είτε λόγω υπερβολικής λήψης υγρών (υπερυδάτωση) είτε λόγω μειωμένης λήψης υγρών (αφυδάτωση). Σαφώς, η αφυδάτωση αποτελεί την πιο συνηθισμένη υδατική διαταραχή, έχει μελετηθεί αρκετά και επιφέρει πολλές αρνητικές συνέπειες στην υγεία.

1.6. Περιβάλλον και Αφυδάτωση

Ο κίνδυνος αφυδάτωσης και θερμοπληξίας αυξάνεται δραματικά όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε θερμό και υγρό περιβάλλον (19). Όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβαίνει την θερμοκρασία σώματος η θερμότητα μέσω ακτινοβολίας δεν μπορεί να διοχετευτεί. Επιπλέον, η ενδεχόμενη απομάκρυνση της θερμότητας μέσω της εφίδρωσης περιορίζεται λόγω της αυξημένης υγρασίας. Συνεπώς, ο κίνδυνος θερμοπληξίας λόγω αυξημένης θερμοκρασίας περιβάλλοντος και υγρασίας αυξάνεται σημαντικά. Κατά τη διεξαγωγή αγώνων κάτω από αυτές τις συνθήκες κρίνεται απαραίτητο να λαμβάνονται οι απαραίτητες προφυλάξεις προκειμένου να διασφαλίζεται στους αθλητές η επαρκής ενυδάτωση μέσω της εύκολης πρόσβασης σε υγρά καθώς επίσης θα πρέπει να ελέγχονται για τον κίνδυνο αφυδάτωσης που πιθανόν διατρέχουν.

1.7. Θερμικές διαταραχές

Επέρχεται όχι μόνο λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος αλλά και λόγω της μειωμένης υδάτωσης. Οι τέσσερις κατηγορίες είναι οι εξής:

- Θερμικές κράμπες (Heat cramp), εμφανίζονται κυρίως όταν η υδάτωση γίνεται από υγρά που δεν περιέχουν αλάτι και γίνεται αντιληπτή κυρίως μέσω των εμφανιζόμενων κραμπών στους μύες.
- Θερμική συγκοπή (Heat syncope), παρουσιάζεται ως αδυναμία της καρδιάς λόγω της μειωμένης επιστροφής στις φλέβες και της αύξησης του λιμνάζοντος αίματος στα περιφερικά διαστέλλοντα αγγεία.
- Θερμική εξάντληση (Heat exhaustion), προκαλείται από έντονη απώλεια υγρών και αλατιού λόγω της υπερβολικής εφίδρωσης που προκαλείται από την υψηλή θερμοκρασία είτε από την έντονη άσκηση και τα κλινικά συμπτώματα αυτής περιλαμβάνουν αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα και συμπτώματα ισχαιμίας όπως αδυναμία, ταραχή, ζαλάδες, πονοκέφαλοι...
- Θερμοπληξία (Heat stroke), αποτελεί τη σοβαρότερη θερμική διαταραχή και μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στον θάνατο. Η θερμοκρασία σώματος φτάνει πάνω από τους 40 °C, ενώ το δέρμα εμφανίζεται στεγνό και ζεστό. Τα κλινικά συμπτώματα αυτής είναι παραλήρημα, σπασμοί, κώμα καθώς και νευρολογικές διαταραχές. (20)

Η επίπτωση της θερμοπληξίας συνδέεται στενά με τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος η οποία επηρεάζεται από το ισοζύγιο των υγρών στο ανθρώπινο σώμα. Η θερμότητα που παράγεται από τους μύες κατά τη διάρκεια της άσκησης αυξάνει τη θερμοκρασία του σώματος, η οποία μέσω ανατροφοδότησης οδηγεί σε διάλυση των μηχανισμών ρύθμισης της θερμοκρασίας (δερματική ροή και ιδρώτας) οι οποίοι παρεμποδίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος. Έτσι, η καταστροφή των παραπάνω μηχανισμών που προκαλείται κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης σε ζεστό και υγρό περιβάλλον και σε συνθήκες αφυδάτωσης και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας σώματος και τελικά την θερμοπληξία.

Για την αποφυγή της θερμοπληξίας συστήνεται:

1. Μείωση της έντασης και της διάρκειας της άσκησης σε θερμό- υγρό περιβάλλον καθώς αυξάνεται η ηλικία (η θερμορυθμιστική ικανότητα μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας)
2. Καθημερινή προσαρμογή του οργανισμού στη ζέστη μέσω αερόβιας και αναερόβιας άσκησης σε αυτές τις συνθήκες.
3. Απαραίτητη η κατανάλωση υγρών.
4. Πλήρης ανάκτηση των απωλειών σε υγρά κατά τη διάρκεια της ημέρας.
5. Δίαιτα υψηλή σε πρωτεΐνη καθώς η θερμορυθμιστική ικανότητα βελτιώνεται από την περαιτέρω αύξηση του όγκου παλμού.

1.8. Αφυδάτωση και ανθρώπινες λειτουργίες

- Μείωση του όγκου παλμού

Η αφυδάτωση μέσω της μείωσης του όγκου παλμού καταστέλλει την δερματική αγγειοδιαστολή αποφορτίζοντας τους τασεουποδοχείς. Οι Nadel et al. μελέτησαν τα αποτελέσματα της μείωσης του όγκου παλμού κατά τη διάρκεια 30λεπτης άσκησης στο 50% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε θερμό περιβάλλον. Παρατήρησαν ότι η μείωση του όγκου παλμού οδηγεί σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του οισοφάγου και μείωση της μέγιστης SkBF στο 50%(21).

Η μείωση του όγκου παλμού επηρεάζει το ρυθμό εφίδρωσης. Σε μελέτη των Fortney et al., φάνηκε ότι η μείωση του όγκου παλμού κατά 9% κατά τη διάρκεια άσκησης στο 65% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου σε θερμό περιβάλλον οδήγησε σε μείωση του ρυθμού εφίδρωσης στην περιοχή του θώρακα και των χεριών(22). Αντίθετα, οι Kamijo et al. σε μελέτη τους έδειξαν ότι σε εθελοντές οι οποίοι είχαν λάβει διουρητικά ($\Delta PV = -10\%$) και πραγματοποίησαν άσκηση στο 60% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου δεν φάνηκε να επηρεάζεται ο ρυθμός εφίδρωσης(23).

- Υπερωσμωτικότητα

Η απώλεια υποτονικού ιδρώτα αυξάνει την ωσμωτικότητα. Η σκελετική ροή αίματος και ο ρυθμός εφίδρωσης μειώνονται καθώς η ωσμωτική πίεση αυξάνεται. Οι Fortney et al. σε μελέτη τους έδειξαν ότι περίπου 10 mosmol/ kg H₂O αύξηση της ωσμωτικής πίεσης οδήγησαν σε αύξηση της εφίδρωσης κατά 0.22 °C και παράλληλα μειώθηκε η σκελετική ροή αίματος (24). Πολιτικοποιώντας αυτές τις αλλαγές φάνηκε ότι η ωσμωμοριακή πίεση αυξάνεται κατά 3,9,15 mosmol/ kg H₂O λόγω της χορήγησης υπερτονικού υγρού πριν την θέρμανση ενώ η εφίδρωση αυξάνεται κατά 0.034 ανά 1 mosmol/ kgH₂O(25)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΝΕΡΟ & ΑΘΛΗΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

2.1. Αθλητική απόδοση και απαιτήσεις σε υγρά

Κατά τη διάρκεια άσκησης σε θερμό περιβάλλον, οι απώλειες σε ιδρώτα συχνά ξεπερνούν την πρόσληψη σε υγρά με αποτέλεσμα την ελλειπή αναπλήρωση υγρών και τις απώλειες σε ηλεκτρολύτες. Δεδομένου ότι οι απώλειες σε υγρά μπορεί να είναι ουσιαστικές, απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην κατανάλωση υγρών κατά την διάρκεια της άσκησης και κατά τα γεύματα. Σε αθλητές οι οποίοι καταναλώνουν ισορροπημένη διατροφή η εξωγενής χορήγηση ηλεκτρολυτών δεν καθίσταται αναγκαία παρά μόνο τις πρώτες ημέρες της έκθεσης σε θερμό περιβάλλον. Η αερόβια δραστηριότητα επηρεάζεται αρνητικά από το θερμό περιβάλλον και την αφυδάτωση. Η αφυδάτωση ευνοεί την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος και μειώνει την αντοχή του ατόμου στην άσκηση. Η αύξηση της θερμοκρασίας σώματος οδηγεί σε μειωμένη εξάτμιση του ιδρώτα και μειωμένη ροή αίματος. Θερμοεγκλιματισμένα άτομα απαιτείται να δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στην αναπλήρωση υγρών δεδομένου ότι ο θερμοεγκλιματισμός αυξάνει το ρυθμό εφίδρωσης και έτσι η αφυδάτωση μπορεί να προκληθεί ενάντια στη θερμορύθμιση. Από την άλλη πλευρά η υπερυδάτωση θα μπορούσε να μειώσει τις αρνητικές επιπτώσεις των θερμικών διαταραχών γεγονός που δεν υποστηρίζεται σαφώς από τις υπάρχουσες μελέτες (4).

Η Φυσική Δραστηριότητα (ΦΔ) και η αυξημένη θερμοκρασία προκαλούν ανισορροπία υγρών και ηλεκτρολυτών (26, 27). Η αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της άσκησης συνήθως προκαλείται είτε λόγω της δυσκολίας κατανάλωσης υγρών κατά την άσκηση είτε λόγω της λανθασμένης αίσθησης της δίψας σε σχέση με τις απώλειες (28, 29). Συνεπώς, ένας αθλητής που ξεκινάει την άσκηση όντας καλά ενυδατωμένος κινδυνεύει από αφυδάτωση μετά το πέρας μεγάλου χρονικού διαστήματος. Αφυδάτωση και άσκηση σε θερμό περιβάλλον επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα όπως, ψυχολογική ένταση, μειωμένη αθλητική απόδοση (30, 31), αναιρείται η θερμορυθμιστική προσαρμογή και μείωση της αερόβιας ικανότητας (30, 32). Εξαντλητική άσκηση και αφυδάτωση οδηγεί σε σοβαρές ιατρικές επιπλοκές (33).

Ο Αμερικάνικος Σύλλογος Φυσικοθεραπευτών για την πρόληψη της αφυδάτωσης συνιστά:

1. Εξατομικευμένα πρωτόκολλα ενυδάτωσης των αθλητών ανάλογα το είδος του αθλήματος, την ένταση αυτού και τη διάρκεια του, την δυνατότητα πρόσβασης-παροχής ροφημάτων τα οποία να συγκλίνουν με τις ατομικές προτιμήσεις του αθλητή και το βαθμό εγκλιματισμού του.
2. Ανάλογα με το είδος του αθλήματος προκύπτει και το κατά πόσο η ενυδάτωση μπορεί να επιτευχθεί με ήπια (διαλειμματικά αθλήματα με δυνατότητα σταδιακής πρόσληψης των απωλειών) είτε με πιο επιθετικά πρωτόκολλα. Επιπλέον, σε αθλήματα όπου η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ($\text{VO}_2 \text{ max}$) είναι $> 80\%$ η γαστρική κένωση είναι ιδιαίτερα καθυστερημένη γεγονός που δυσχεραίνει την επαρκή ενυδάτωση στα αθλήματα αυτά (34). Αφυδάτωση που ξεπερνάει το 4% του σωματικού βάρους του αθλητή δυσχεραίνει επίσης τη γαστρική κένωση, με αποτέλεσμα την περαιτέρω δυσφορία και αφυδάτωση (35).
3. Τα αθλητικά ποτά συστήνεται να είναι μεμονωμένα και αρωματισμένα ανάλογα με τις γευστικές προτιμήσεις του εκάστοτε αθλητή. Να αναγράφεται η ποσότητα των 100 ml και να υποδεικνύεται το ποσό που καταναλώνεται. Ο αθλητής πρέπει να γνωρίζει και να παροτρύνεται να καταναλώσει την απαιτούμενη δόση από το αθλητικό ποτό το οποίο θα πρέπει να του παρέχεται σε ευχάριστη θερμοκρασία. Ο αθλητής θα πρέπει να παραμένει επικεντρωμένος στις απαιτήσεις του αγώνα ενώ ο συνοδός του θα πρέπει να φροντίζει για την επαρκή ενυδάτωση του αθλητή (36) .
4. Κατά την έναρξη της κάθε συνεδρίας άσκησης είναι σημαντικό ο αθλητής να ζυγίζεται ώστε να ελέγχεται το βάρος του και να λειτουργούν σωστά οι αντισταθμιστικοί παράγοντες αύξησης της θερμοκρασίας. Επιπλέον, να υπολογίζονται τα γεύματα του, η συχνότητα αφόδευσης και οι θερμίδες που δαπανήθηκαν κατά την άσκηση. Το χρώμα και το ειδικό βάρος των ούρων είναι πολύ σημαντικοί δείκτες εκτίμησης της υδάτωσης του αθλητή (36). Μέτρηση της θερμοκρασίας πυρήνα είναι πολύ σημαντική (4) δεδομένου ότι η αυξημένη θερμοκρασία πυρήνα και η αλλαγή της ωσμωμοριακότητας του αίματος που λούζει τον υποθάλαμο προκαλεί αλλοίωση στα μηνύματα της θερμορύθμισης λόγω αλλαγών στην κολπική πίεση, με αποτέλεσμα να μην διαστέλλονται επαρκώς τα αγγεία του δέρματος και να μην επέρχεται η εφίδρωση.

5. Αποτελεί σύνηθες φαινόμενο οι αθλητές να μην ενυδατώνονται κατά τη διάρκεια του αγώνα λόγω έλλειψης χρόνου είτε λόγω υψηλού ανταγωνισμού. Η ενυδάτωση πριν τον αγώνα θα πρέπει να περιλαμβάνει την κατανάλωση ενός αθλητικού ποτού είτε 200-300 ml νερού ενώ αρκετές ώρες πριν τον αγώνα η ενυδάτωση θα πρέπει να περιλαμβάνει την κατανάλωση 2-3 αθλητικών ποτών ή 400-600 ml νερού. Ο όγκος των 400-600 ml υγρών οδηγεί σε μέγιστη γαστρική κένωση ενώ εφόσον το ποτό περιέχει έως 8% CHO επιτυγχάνεται και η μέγιστη γαστρική απορρόφηση. Η αναπλήρωση υγρών πρέπει να προσεγγίζει τις απώλειες μέσω ιδρώτα και να διατηρεί την ενυδάτωση λιγότερη από 2% μείωση του σωματικού βάρους. Συστήνεται η κατανάλωση 200-300 ml υγρών ανά 10-20 λεπτά κατά τη διάρκεια της άσκησης. Προσοχή θα πρέπει να δίνεται προκειμένου να αποφεύγονται φαινόμενα υπερενυδάτωσης. Η πρόσληψη φρουκτόζης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2-3 gr διότι μπορεί να προκαλέσει δυσφορία στον αθλητή. Έτσι, πριν από κάθε αγώνα υπολογίζονται οι θερμίδες, η ωσμωτικότητα, ο όγκος των υγρών και ο αθλητής πειραματίζεται με το είδος του ροφήματος που του είναι πιο ανεκτό (35). Η επανυδάτωση μετά το τέλος της άσκησης θα πρέπει να ολοκληρώνεται μέσα σε δύο ώρες. Έτσι επιλέγονται ροφήματα που να περιέχουν CHO για πλήρωση του γλυκογόνου και των ηλεκτρολυτών. Σε διάστημα 4-6 ωρών από το τέλος της άσκησης η αναπλήρωση υγρών θα πρέπει να είναι 125-150% της απώλειας. Τα αθλητικά ποτά δεν πρέπει να περιέχουν αλκοόλ, καφεΐνη και ανθρακούχα αναψυκτικά διότι προκαλούν διούρηση και ταχεία πλήρωση του στομάχου (36).
6. Τα συμπτώματα της αφυδάτωσης (δίψα, ευερεθιστότητα, ρίγη, έμετοι, ναυτία, γενική δυσφορία, αίσθηση αυξημένης θερμοκρασίας στο λαιμό) θα πρέπει να είναι γνωστά στους συνοδούς των αθλητών προκειμένου να μπορέσουν να παρέχουν επιθετική ενυδάτωση από το στόμα είτε με εξωτερική χορήγηση υγρών. Σε ένα αθλητικό περιβάλλον θα πρέπει να υπάρχει συνεχώς κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, ιατρικές προμήθειες (35).
7. Προσθήκη NaCl στα αθλητικά ποτά. Ιδιαίτερα σε αθλήματα που διαρκούν πάνω από 4 ώρες οι απώλειες σε NaCl είναι σημαντικές και πρέπει να αντικατασταθούν (0,3-0,7 gr/L) προκειμένου να μην εμφανιστούν ηλεκτρολυτικές ανισσοροπίες. Η θερμική καταπόνηση οδηγεί σε περαιτέρω απώλειες αφού το ποσοστό στον ιδρώτα αυξάνεται.

Επίσης, αυξάνεται το αίσθημα της δίψας και η οικειοθελής πρόσληψη υγρών με παράλληλη αποφυγή εμφάνισης υπονατριαιμίας (36).

8. Ο υπολογισμός του % ιδρώτα προκύπτει από $\Sigma B - V$ ούρων/ t άσκησης και έχει εύρος από 0,5-2,5 L/h (L=kg). Έχουμε, περιεκτικότητα ιδρώτα, Na: 35 mmol/ L , Ca: 1 mmol/L, K: 5mmol/L, Mg: 0.8mmol/L. Ο ιδρώτας περιέχει και βιταμίνες αλλά σε αμελητέα ποσότητα (36).
9. $USG \geq 1.020$ είτε το χρώμα ούρων είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το 4 τότε ο αθλητής θεωρείται αφυδατωμένος. Απαγορεύεται από τους αθλητές η χρήση διουρητικών, ρούχων από καουτσούκ, άσκηση σε σάουνα...(36).
10. Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η εκπαίδευση των αθλητών, ο επαρκής εγκλιματισμός (5-10 ημέρες πριν τον αγώνα) προκειμένου να μειωθεί το ποσοστό των ηλεκτρολυτών και το ποσό του ιδρώτα. Επιπλέον, απαιτείται να ελέγχεται η ικανότητα κατάποσης, το κλίμα, η διαθεσιμότητα και η γεύση των αθλητικών ποτών (37).
11. Το Institute of Medicine ορίζει ότι τα αθλητικά ποτά θα πρέπει να περιέχουν συγκεκριμένη περιεκτικότητα σε νερό, CHO και ηλεκτρολύτες. Συγκεκριμένα, η σύσταση ενός αθλητικού ποτού πρέπει να έχει: $\approx 20-30 \text{ meq/L Na}$, $\approx 2-5 \text{ meq/L K}$, $\approx 5-10\% \text{ CHO}$. Αποφεύγεται η υπονατριαιμία με τα επίπεδα νατρίου να είναι $\leq 130-135 \text{ mmol/L}$ (37, 38). Το κάλιο και το νάτριο που προστίθεται αποκαθιστά την ηλεκτρολυτική ισορροπία, ενώ το νάτριο λειτουργεί και ως βελτιωτικό γεύσης και αυξάνει το αίσθημα της δίψας. Οι υδατάνθρακες αυξάνουν την απόδοση. Σε άσκηση που διαρκεί περισσότερο από 90 λεπτά οι αθλητές συστήνεται να καταναλώνουν ενεργειακά ζελέ, μπάρες και άλλα εύχρηστα και εύκολα μεταφερόμενα τρόφιμα (36, 39)

Ο ACSM (American College of Sport Medicine) το 2007 αναφέρεται στην ενυδάτωση των αθλητών πριν, μετά και κατά τη διάρκεια της άσκησης.

1. Ποσοτικά και ποιοτικά επαρκής κατανάλωση τροφής και υγρών μία ημέρα πριν την άσκηση ή τον αγώνα.
2. Κατανάλωση 5-7 ml υγρών ανά kg ΣΒ 4 ώρες πριν την έναρξη της άσκησης.

3. Άμεση διαθεσιμότητα υγρών καθ' όλη τη διάρκεια της άσκησης. Προγραμματισμός στην πρόσληψη και κατανάλωση συγκεκριμένων ποσοτήτων υγρών είτε με τη μορφή υγρών είτε με τη μορφή αθλητικού ποτού.
4. Το νερό ή το αθλητικό ποτό πρέπει να έχει θερμοκρασία περίπου 15 °C ώστε να είναι δροσερό και να καταναλώνεται εύκολα από τον αθλητή. Επιπλέον, συστήνεται να έχει ευχάριστη γεύση, χρώμα και υφή.
5. Όταν η διάρκεια της άσκησης ξεπερνά την μία ώρα το αθλητικό ποτό πρέπει να περιέχει υδατάνθρακες και ηλεκτρολύτες που βοηθούν στη διατήρηση της αθλητικής απόδοσης. Η χορήγηση των υδατανθράκων θα πρέπει να γίνεται με ρυθμό 30-60 g/ώρα όταν η κατανάλωση ποτού είναι 60-1200 ml/h με περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες 4-8%. Το νάτριο συστήνεται να βρίσκεται σε συγκέντρωση 20-30 mEq/L προκειμένου να γίνεται ακόμα μεγαλύτερη κατακράτηση υγρών στο σώμα, βελτίωση της γεύσης και έλεγχος της εμφάνισης υπονατριαιμίας.

2.2. Ο ρόλος και η αναγκαιότητα του νερού στην αθλητική απόδοση

2.2.1. Πριν την έναρξη της άσκησης

Η επαρκής ενυδάτωση και η διατήρηση επαρκής ηλεκτρολυτικής κατάστασης πριν την έναρξη της σωματικής δραστηριότητας είναι πρωταρχικής σημασίας. Κατανάλωση κατάλληλων υγρών μαζί με στερεή διατροφή πριν την έναρξη της άσκησης (8-12 ώρες) μπορούν να εξασφαλίσουν στον αθλητή επαρκή ενυδάτωση (40).

Παρόλα αυτά, εάν ο αθλητής έχει σημαντικές ελλείψεις σε υγρά και μη επαρκή χρόνο αναπλήρωσης αυτών απαιτείται οξύ πρόγραμμα αποκατάστασης των απωλειών.

Η προσπάθεια υπερυδάτωσης πριν την έναρξη του αθλήματος δεν έχει φανεί να παρέχει ευεργετικά αποτελέσματα στην απόδοση έναντι της ενυδάτωσης (16, 41-43). Αντίθετα, η υπερυδάτωση μπορεί να μειώσει και να αραιώσει σημαντικά το νάτριο του πλάσματος πριν την έναρξη της άσκησης αυξάνοντας έτσι σημαντικά την πιθανότητα υπονατριαιμίας ιδιαίτερα όταν ακολουθήσει απότομη αναπλήρωση υγρών κατά την άσκηση (44).

Σημαντικό ρόλο για την ενίσχυση της επαρκούς ενυδάτωσης παίζει η ενίσχυση της γεύσης των καταναλωμένων υγρών (πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της άσκησης). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το να παρέχονται τα υγρά στην κατάλληλη θερμοκρασία είτε μέσω της προσθήκης νατρίου και ουσιών που ενισχύουν τη γεύση. Η προτεινόμενη θερμοκρασία

κυμαίνεται μεταξύ 15- 21 °C αλλά η γεύση και η ευληπτότητα διαφοροποιούνται μεταξύ των αθλητών και της κουλτούρας αυτών (45).

Συμπερασματικά, η επαρκής ενυδάτωση πριν την έναρξη της άσκησης είναι ιδιαίτερα σημαντική προκειμένου να προλάβει να επέλθει απορρόφηση και η παραγωγή των ούρων να επιστρέψει σε φυσιολογικά επίπεδα. Επιπλέον, η κατανάλωση υγρών που περιέχουν νάτριο είτε αλατισμένων γευμάτων- snack σε συνδυασμό με υγρά μπορούν να ρυθμίσουν το αίσθημα της δίψας διατηρώντας την απαραίτητη υδάτωση.

2.2.2. Κατά τη διάρκεια της άσκησης

Πρωταρχικό στόχο κατά τη διάρκεια της άσκησης αποτελεί η αποτροπή υπέρμετρης αφυδάτωσης (> 2% του σωματικού βάρους) και μεγάλων αλλαγών στην ηλεκτρολυτική ισορροπία οι οποίες θα μπορούσαν να περιορίσουν την αθλητική απόδοση(40). Η ποσότητα και ο ρυθμός αναπλήρωσης των απωλειών εξαρτάται από το ρυθμό εφίδρωσης, τη διάρκεια της άσκησης και την δυνατότητα πρόσληψης υγρών από τον κάθε αθλητή. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην αναπλήρωση των απωλειών σε υγρά ιδιαίτερα σε αθλήματα που διαρκούν πάνω από τρεις ώρες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της άσκησης τόσο μεγαλύτερες μπορεί να είναι οι αρνητικές επιπτώσεις της μη επαρκούς ενυδάτωσης με αποτέλεσμα την υπέρμετρη αφυδάτωση ή την υπονατριαιμία (44).

Η δυσκολία να δοθούν σαφείς συστάσεις που να αφορούν την αποκατάσταση υγρών και ηλεκτρολυτών συνδέεται με τα διαφορετικά είδη άσκησης (μεταβολικές απαιτήσεις, διάρκεια άσκησης, ρουχισμός, εξοπλισμός), τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και άλλους παράγοντες (γενετικούς, προσαρμογές στην προπόνηση και προπονητική κατάσταση...) οι οποίοι επηρεάζουν τόσο το ρυθμό εφίδρωσης όσο και τις απώλειες ηλεκτρολυτών μέσω του ιδρώτα. Συνεπώς, γίνεται σαφές ότι ο κάθε αθλητής συστήνεται να ελέγχει τις αλλαγές στο σωματικό του βάρος κατά τη διάρκεια της προπόνησης/ αγώνα προκειμένου να μπορεί να υπολογίσει τις απώλειες υγρών μέσω του ιδρώτα για τα διαφορετικά είδη/ εντάσεις άσκησης με δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση του υπολογισμού των απωλειών, αν και ένα τέτοιο σχήμα δεν είναι πάντα εύκολα εφαρμόσιμο. Για παράδειγμα, τόσο οι απαιτήσεις σε υγρά όσο και σε ηλεκτρολύτες υπόκεινται μεγάλη διαφοροποίηση ανάμεσα σε ένα ποδοσφαιριστή που βρίσκεται σε προ-αγωνιστική περίοδο και σε ένα μαραθωνοδρόμο (40).

Η σύσταση του αθλητικού ποτού είναι εξίσου σημαντική. Το Institute of Medicine παρέχει σαφείς γενικές συστάσεις όσον αφορά την σύσταση των αθλητικών ποτών που παρέχονται σε άτομα που συμμετέχουν σε αθλητικές δραστηριότητες μεγάλης διάρκειας και σε θερμό περιβάλλον (46). Η σύσταση των υγρών θα πρέπει να περιέχει $\approx 20-30$ meq/L νάτριο (ως ανιόν χλωρίου), $\approx 2-5$ meq/L κάλιο και 5-10% υδατάνθρακες (46). Η ανάγκη για αυτά τα συστατικά εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ανάγκες του κάθε αθλήματος (όπως για παράδειγμα η ένταση και η διάρκεια) αλλά και οι διαφορικές περιβαλλοντικές συνθήκες. Το νάτριο και το κάλιο συνεισφέρουν στην αποκατάσταση των ηλεκτρολυτικών απωλειών, ενώ το νάτριο βοηθάει επίσης στη ρύθμιση της δίψας, και οι υδατάνθρακες συμβάλουν στην παροχή ενέργειας. Τα παραπάνω θρεπτικά συστατικά μπορούν επίσης να δοθούν και από μη υγρά τρόφιμα όπως ενεργειακές μπάρες, τζελάκια αλλά και άλλα τρόφιμα.

Η κατανάλωση υδατανθράκων προκειμένου να διατηρηθεί η ένταση της άσκησης σε υψηλά επίπεδα είναι ωφέλιμη σε αθλήματα που διαρκούν περίπου μία ώρα ή περισσότερο καθώς επίσης και σε αθλήματα μικρότερης έντασης και μεγαλύτερης διάρκειας (47-50). Τα αθλητικά ποτά που περιέχουν υδατάνθρακες στοχεύουν στην αναπλήρωση των απωλειών σε υδατάνθρακες κατά την άσκηση ενώ παράλληλα στοχεύουν στην αναπλήρωση των απωλειών σε υγρά και ηλεκτρολύτες. Η κατανάλωση υδατανθράκων σε ρυθμό περίπου 30-60 g/hour έχει φανεί ότι διατηρούν τα επίπεδα γλυκόζης αίματος και ευνοούν την αθλητική απόδοση (48, 51). Η βέλτιστη απορρόφηση υδατανθράκων επιτυγχάνεται όταν αυτοί δίνονται σαν ένα μείγμα σακχάρων (π.χ. γλυκόζη, σουκρόζη, φρουκτόζη, μαλτοδεξτρίνη). Στην περίπτωση όπου το αθλητικό ποτό περιέχει υδατάνθρακες η συγκέντρωση αυτών δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 8% καθώς η υψηλή συγκέντρωση υδατανθράκων κατά τη διάρκεια της άσκησης μειώνει τις γαστρικές εκκρίσεις (52, 53). Επίσης, η λήψη καφεΐνης ίσως βοηθά στην αθλητική απόδοση και πιθανότατα δεν εμποδίζει την επαρκή ενυδάτωση κατά τη διάρκεια αυτής (51, 54, 55).

2.2.3. Κατά την αποκατάσταση

Ο στόχος στην φάση της αποκατάστασης είναι να υπάρξει πλήρης αναπλήρωση των απωλειών σε υγρά και ηλεκτρολύτες. Η έμφαση που θα δοθεί εξαρτάται από τα επίπεδα της επανυδάτωσης που θα πρέπει να επιτευχθεί αλλά και στις ελλείψεις σε υγρά και ηλεκτρολύτες όπου έχει προκληθεί. Εάν ο χρόνος αποκατάστασης το επιτρέπει, η κατανάλωση στερεών τροφών και snack μαζί με παράλληλη πρόσληψη νερού θα αποκαταστήσει την ενυδάτωση και θα παρέχει στον οργανισμό επαρκείς ποσότητες νατρίου

που θα αποκαταστήσουν τις απώλειες μέσω του ιδρώτα (40). Σε περίπτωση όπου η επανυδάτωση πρέπει να ολοκληρωθεί σε μικρό χρονικό διάστημα τότε συστήνονται πιο επιθετικά πρωτόκολλα (56-58).

Η ανεπαρκής αποκατάσταση των απωλειών σε νάτριο θα αποτρέψει την επαρκή ενυδάτωση του αθλητή λόγω της υπερβολικής παραγωγής ούρων (58-60). Η κατανάλωση νατρίου στη φάση της αποκατάστασης θα βοηθήσει στη διατήρηση και τον έλεγχο της δίψας. Ο υπολογισμός των απωλειών σε νάτριο είναι πιο δύσκολα υπολογίσιμος σε σχέση με τις απώλειες σε νερό καθώς οι απώλειες σε νάτριο μέσω του ιδρώτα διαφοροποιούνται μεταξύ των αθλητών. Ποτά τα οποία περιέχουν νάτριο θεωρούνται ωφέλιμα, καθώς επίσης πολλά τρόφιμα μπορούν να παρέχουν τους απαραίτητους ηλεκτρολύτες. Η επιπλέον προσθήκη αλατιού στα τρόφιμα συστήνεται επίσης.

Επαρκής αποκατάσταση των απωλειών σε νερό επέρχεται όταν για κάθε ένα κιλό που χάνεται ο αθλητής λαμβάνει 1.5 λίτρα υγρών (58). Η επιπλέον ποσότητα νερού που λαμβάνει ο αθλητής απαιτείται προκειμένου να εξισορροπείται η αυξημένη παραγωγή ούρων (58). Συνεπώς, όταν είναι δυνατό, τα υγρά θα πρέπει να καταναλώνονται μέσα σε κάποιο χρονικό διάστημα (με παράλληλη λήψη ηλεκτρολυτών) παρά να επιλέγεται η απευθείας λήψη μεγάλων ποσοτήτων υγρών σε μικρό χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη απορρόφηση αυτών (61).

Η ενδοφλέβια χορήγηση υγρών στη φάση της αποκατάστασης συστήνεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει οξεία αφυδάτωση ($>7\%$ του σωματικού βάρους), σε αθλητές όπου εμφανίζουν ναυτία, διάρροια ή σε περιπτώσεις όπου η από του στόματος λήψη υγρών δεν είναι εφικτή. Στην πλειοψηφία όμως των περιπτώσεων, η ενδοφλέβια χορήγηση υγρών δεν παρέχει κάποια επιπλέον οφέλη σε σύγκριση με τη λήψη υγρών από το στόμα (62).

2.3. Αφυδάτωση και Αθλητική απόδοση

Αφυδάτωση ορίζεται η απώλεια υγρών της τάξεως του 2% του Σωματικού Βάρους (ΣΒ) ή και παραπάνω. Σε συνθήκες αφυδάτωσης έχειδειχθεί ότι μειώνεται η απόδοση σε αθλήματα αντοχής τόσο σε εργαστηριακές μελέτες (63, 64) όσο και σε μελέτες πεδίου (65, 66).

Οι αρνητικές επιπτώσεις της αφυδάτωσης σε αθλήματα αντοχής είναι επαρκώς τεκμηριωμένες ανεξάρτητα από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να

προκληθεί η αφυδάτωση (67, 68). Επιπλέον, παρουσιάζεται μεγάλη μεταβλητότητα όσον αφορά τις αρνητικές επιπτώσεις της αφυδάτωσης, με αποτέλεσμα κάποιοι αθλητές να εμφανίζουν μεγαλύτερες ή μικρότερες μειώσεις στην αθλητική τους απόδοση σε σχέση με τις απώλειες τους σε νερό. Μέρος αυτής της μεταβλητότητας μπορεί να υπολογιστεί μέσω του αρχικού συνολικού νερού σώματος (το οποίο επηρεάζει την απόλυτη έλλειψη σε υγρά), την διανομή των απωλειών ανάμεσα στα διάφορα σωματικά υδατικά διαμερίσματα (το οποίο επηρεάζεται από τη μέθοδο που έχει προκληθεί η αφυδάτωση), περιβαλλοντικές συνθήκες και τέλος η ατομική ανοχή του αθλητή στην αφυδάτωση (69).

Η επίδραση της αφυδάτωσης στην αθλητική απόδοση και στις φυσιολογικές λειτουργίες του αθλητή έχει μελετηθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσεγγίσεις με στόχο την μείωση του συνολικού υγρού σώματος. Οι μειώσεις σε υγρά επιτυγχάνονται είτε πριν την πραγματοποίηση της μέτρησης (αφυδάτωση μέσω χρήσης διουρητικών, σάουνας, άσκησης) είτε κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης άσκησης (αφυδάτωση μέσω μείωσης νερού κατά την άσκηση). Κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους επιδρά διαφορετικά στη διανομή των υγρών στα διάφορα διαμερίσματα του σώματος με αποτέλεσμα τα ερευνητικά αποτελέσματα να είναι πολλές φορές διφορούμενα. Η αφυδάτωση χρησιμοποιείται προκειμένου να μελετηθούν οι φυσιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού (68, 69). Επίσης, η αφυδάτωση έχει άμεση εφαρμογή στα αθλήματα με κατηγορίες βάρους αλλά ίσως έχει περιορισμένη εφαρμογή σε αθλήματα αντοχής. Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι ανεξάρτητα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται προκειμένου να προκληθεί αφυδάτωση, υπάρχουν μεγάλες ομοιότητες στην μεταβολή των φυσιολογικών λειτουργιών του οργανισμού καθώς και στην αθλητική απόδοση.

Οι φυσιολογικοί παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στην μείωση της απόδοσης η οποία συνδέεται με την αφυδάτωση είναι:

- Αύξηση καρδιαναπνευστικού τόνου
- Υπερθερμία (heat strain)
- Μεταβολή της λειτουργίας του νευρικού συστήματος
- Μεταβολικές μεταβολές.

Παρότι ο κάθε παράγοντας είναι μοναδικός έχει φανεί ότι όλοι συμμετέχουν ομαδικά, στη μείωση της αθλητικής απόδοσης. Η σχετική συμμετοχή του κάθε παράγοντα σε αυτό διαφοροποιείται και εξαρτάται από τη διάρκεια του αγωνίσματος, τις περιβαλλοντικές

συνθήκες, την ικανότητα του εκάστοτε αθλητή όμως η υπερθερμία φαίνεται να συμβάλει περισσότερο από όλους (τους παράγοντες) στη μείωση της αθλητικής απόδοσης (70).

2.3.1. Αύξηση καρδιαναπνευστικού τόνου

Η μείωση της μέγιστης καρδιακής παροχής φαίνεται να αποτελεί το βασικό μηχανισμό μέσω του οποίου η αφυδάτωση μειώνει την μέγιστη αερόβια ικανότητα και την δυνατότητα παραγωγής έργου αυξανόμενης έντασης. Η αφυδάτωση συνδέεται με μειωμένο όγκο αίματος (πλάσματος) κατά τη διάρκεια τόσο της ηρεμίας όσο και της άσκησης (71, 72). Μείωση του όγκου αίματος αυξάνει το ιξώδες του αίματος και μπορεί να μειώσει τη φλεβική επιστροφή. Κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης, λόγω ιξώδους αυξάνεται η αντίσταση και μειώνεται η πλήρωση της καρδιάς τα οποία μπορούν να μειώσουν τόσο τον όγκο παλμού όσο και την καρδιακή παροχή. Πολλές μελέτες έχουν δείξει μία τάση για μειωμένη καρδιακή παροχή όταν οι εθελοντές ήταν αφυδατωμένοι κατά τη διάρκεια σύντομης άσκησης μέτριας έντασης (73, 74).

Πρώτοι ο Pitts και η ομάδα του μελέτησαν πώς η περιοδική μείωση των επιπέδων νερού από το σώμα κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης επιδρούν στην αύξηση του καρδιαγγειακού τόνου ($\approx 17\%$ αύξηση του καρδιακού ρυθμού) σε συνδυασμό με αναστολή της αθλητικής απόδοσης (20-60% μείωση της διάρκειας άσκησης) σε σύγκριση με την ενυδατωμένη κατάσταση (75). Έκτοτε πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν δείξει παρόμοια αποτελέσματα αύξησης του καρδιακού τόνου και μείωσης της αθλητικής απόδοσης τόσο σε θερμό (47, 76-78) όσο και σε μέτρια θερμό περιβάλλον (79, 80) όταν πραγματοποιήθηκε αφυδάτωση η οποία ξεπερνούσε το 2% του σωματικού βάρους. Όπως σε μελέτες αφυδάτωσης, ο υψηλότερος καρδιαγγειακός τόνος κατά τη διάρκεια της άσκησης οδηγεί σε αύξηση της αντιλαμβανόμενης προσπάθειας (47, 75-80). Έτσι, ο υψηλότερος καρδιαγγειακός τόνος μπορεί να επηρεάσει την αντοχή τόσο σε θερμό όσο και σε μέτριο κλίμα μειώνοντας παράλληλα την απόδοση (λόγω της αντιλαμβανόμενης κόπωσης).

Η έλλειψη σε υγρά θα αυξήσει τον καρδιαναπνευστικό τόνο ο οποίος επηρεάζεται από τον αυξημένο καρδιακό παλμό και τον μειωμένο όγκο παλμού κατά τη διάρκεια της άσκησης σε μέτριο είτε σε θερμό περιβάλλον. Όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε συνθήκες υπερθερμίας, ο αθλητής πιθανά δεν θα μπορεί να υποστηρίξει την καρδιακή παραγωγή (72). Η έλλειψη υγρών μειώνουν την καρδιακή πλήρωση λόγω του μειωμένου όγκου παλμού ο οποίος συνήθως συνοδεύεται από αυξημένη δερματική ροή αίματος και υποχώρηση. Κατά τη

διάρκεια άσκησης με δεδομένη αφυδάτωση, η μειωμένη καρδιακή παραγωγή ισοφαρίζει την αυξημένη αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου. Παρόλα αυτά, όταν η αρτηριοφλεβική διαφορά οξυγόνου αυξηθεί ιδιαίτερα, οι επιπλέον μειώσεις στην καρδιακή παροχή θα οδηγήσουν σε μείωση της έντασης της άσκησης ή τερματισμό αυτής (72). Ο ακριβής μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο συμβαίνει το παραπάνω παραμένει ασαφής.

Ο καρδιαγγειακός τόνος αυξάνεται περιοδικά ως απάντηση στην αύξηση της αφυδάτωσης. Μελέτες όπου συγκρίνεται η πρόσληψη υγρών σε σχέση με την μη πρόσληψη υγρών κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης παρουσιάζουν αυξημένους καρδιακούς παλμούς όταν το ισοζύγιο υγρών είναι αρνητικό τόσο σε χλιαρό όσο και σε θερμό περιβάλλον ($\approx 22-33^{\circ}\text{C}$) και τόσο σε προπονημένα όσο και με μη προπονημένα άτομα (27, 81-84). Οι Montain and Coyle σε μελέτη τους έδειξαν ότι το μέγεθος της αφυδάτωσης (1-4%) συνδέεται άμεσα με την αύξηση του καρδιακού παλμού και την πτώση του όγκου παλμού (83). Σε άλλη μελέτη ο Gonzalez- Alonso και η ομάδα του παρουσίασαν να υπάρχουν τόσο ανεξάρτητες όσο και συνεργιστικές μειώσεις στην καρδιαγγειακή λειτουργία μετά από αφυδάτωση, αύξηση της θερμοκρασίας είτε συνδυασμό αυτών. Ο όγκος παλμού μειώθηκε όμοια (7-8%) μετά από 4% αφυδάτωση ή μετά από υπερθερμία (Τα πυρήνα $> 39^{\circ}\text{C}$), αλλά όταν οι παραπάνω παράγοντες συνδυάστηκαν τότε επήλθε περαιτέρω 20% μείωση (63).

2.3.2. Υπερθερμία

Το θερμικό stress, το οποίο συνδέεται με την αφυδάτωση, μπορεί δυνητικά να συμβάλει στη μείωση της μέγιστης αερόβιας δύναμης και στην ικανότητα παραγωγής έργου σε άσκηση αυξανόμενης έντασης. Σε πλήρως ενυδατωμένα άτομα, η αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος μειώνει τη μέγιστη αερόβια ικανότητα περίπου κατά 7% (71). Στη ζέστη, οι φλέβες που βρίσκονται στην επιφάνεια του δέρματος διαστέλλονται αυτόματα προκειμένου να αυξήσουν τη δερματική ροή και τον όγκο αίματος. Η νέα κατεύθυνση της αιματικής ροής στα δερματικά αγγεία μπορεί να μειώσει τη μέγιστη ικανότητα παραγωγής έργου είτε μειώνοντας το ποσό της καρδιακής παροχής των συμβαλλόμενων μυών είτε μειώνοντας την αποτελεσματικότητα του όγκου του κεντρικού αίματος και της πίεσης των κεντρικών φλεβών, και έτσι μειώνοντας την φλεβική επιστροφή και την καρδιακή παροχή. Σημαντικός όγκος αίματος θα μεταφερθεί στην επιφάνεια του δέρματος και έτσι θα απομακρυνθεί από το αποτελεσματικό κέντρο της κυκλοφορίας δυσχεραίνοντας έτσι την οξυγόνωση των σκελετικών μυών (85, 86). Συνεπώς, τόσο η αφυδάτωση όσο και η αυξημένη θερμοκρασία

περιβάλλοντος μπορούν ανεξάρτητα να περιορίσουν την καρδιακή παροχή και κατ'επέκταση την παροχή οξυγόνου κατά τη διάρκεια άσκησης μέγιστης έντασης.

Προκειμένου να αξιολογηθεί κατά πόσο η αφυδάτωση μεταβάλλει τη φυσιολογική ανοχή του οργανισμού στην υπερθερμία, οι Sawka και συνεργάτες πραγματοποίησαν μελέτη όπου οι εθελοντές κλίθηκαν να περπατήσουν μέχρι εξάντλησης ενώ ήταν είτε ενυδατωμένοι είτε κατά 8% αφυδατωμένοι. Οι εργαστηριακές συνθήκες ($T = 49^{\circ}\text{C}$, humidity= 20%) και η ένταση της άσκησης (47% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου) ήταν τέτοιες που δεν θα επέτρεπε θερμική ισορροπία και έτσι οι εθελοντές τελικά θα διέκοπταν λόγω εξάντλησης από τη ζέστη. Η αφυδάτωση μείωνε το χρόνο μέχρι εξάντλησης από τα 121 στα 55 λεπτά, αλλά σημαντικότερο ήταν το γεγονός ότι στα αφυδατωμένα άτομα μειώθηκε η θερμοκρασία πυρήνα που μπορούσαν να ανεχθούν (η θερμοκρασία πυρήνα κατά την θερμική εξάντληση ήταν ≈ 0.4 βαθμούς χαμηλότερη κατά την αφυδάτωση) (68). Τα παραπάνω δεδομένα υποδεικνύουν ότι η αφυδάτωση δεν περιορίζει απλά την αθλητική απόδοση αλλά ακόμα μειώνει την φυσιολογική ανοχή του οργανισμού στη ζέστη.

Αφυδάτωση, η οποία συνδέεται με αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα, μειώνει την απόδοση λόγω της αύξησης του καρδιαγγειακού τόνου. Η θερμοκρασία πυρήνα συμβάλει κατά 90% στην αύξηση της δερματικής ροής αίματος σε θερμά κλίματα (87) και η ροή μπορεί να είναι μέχρι 7 L/ min (88). Συνεπώς, η μειωμένη εφίδρωση και η εξάτμιση του ιδρώτα μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του δέρματος. Η ενδοτικότητα του δέρματος στη ζέστη οδηγεί στη μεταφορά του όγκου του αίματος στην περιφέρεια με αποτέλεσμα τη μείωση της αποτελεσματικής παροχής όγκου αίματος κεντρικά (88). Η υψηλότερη θερμοκρασία δέρματος θα οδηγήσει σε αύξηση του καρδιακού παλμού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας πυρήνα λόγω άσκησης (88).

2.3.3. Μεταβολή της λειτουργίας του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος

Κάποιοι ερευνητές συμφωνούν ότι υπάρχει μία κρίσιμη θερμοκρασία πυρήνα η οποία συνδέεται με την εξάντληση κατά τη διάρκεια της άσκησης. Αυτή η υπόθεση αναφέρει ότι όταν αυτή η θερμοκρασία λάβει μέρος, το ΚΝΣ μειώνει την «όρεξη» για άσκηση, προκειμένου να μειωθεί η παραγωγή θερμότητας (και η υπερθερμία λόγω άσκησης) και να προστατευτεί η νευρολογική λειτουργία. Κατά τη διάρκεια πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε θερμό κλίμα, αυτή η τιμή φάνηκε να εμφανίζεται σε θερμοκρασία πυρήνα μεταξύ $39.5-40^{\circ}\text{C}$ (89-92).

Παράλληλα με το όριο της κρίσιμης θερμοκρασίας πυρήνα, δεδομένα υποστηρίζουν ότι υπερθερμία μπορεί να μειώσει την «όρεξη» για άσκηση και να μειώσει τον χρόνο πραγματοποίησης άσκησης, πιθανά μέσω μίας οδού του ΚΝΣ (92). Ο Nielsen και η ομάδα του μέτρησαν με ηλεκτροκαρδιογράφημα την δραστηριότητα του πρόστιου μέρους του εγκεφάλου σε ποδηλάτες κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης άσκησης εξάντλησης στη ζέστη (42°C, σχετική υγρασία 18%) και σε μέτρια θερμοκρασία (19°C, σχετική υγρασία 40%). Η εγκεφαλική δραστηριότητα μετρήθηκε μέσω χαμηλών (a) και υψηλών (b) συχνοτήτων, όπου είναι περισσότερο ενεργές (a) και λιγότερο ενεργές (b) κατά τη διάρκεια του ύπνου και αντίστοιχα (91). Παρόλο που υπήρξαν πολύ μικρές διαφορές στην δραστηριότητα των a band κατά τη διάρκεια της άσκησης, η δραστηριότητα των b band μειωνόταν σταδιακά καθώς η θερμοκρασία σώματος αυξανόταν και ο λόγος a/b συνδέονταν σημαντικά με τη θερμοκρασία πυρήνα (91). Παρόλα αυτά, ο ακριβής μηχανισμός εξασθένησης της νευρομυϊκής δραστηριότητας σε υψηλές θερμοκρασίες σώματος παραμένει ασαφής, ενώ η μείωση της παραγωγής των κινητικών νευρώνων ίσως έχει σεροτονεργικές ρίζες (93).

2.3.4. Μεταβολικές μεταβολές

Αλλαγές στον μυϊκό μεταβολισμό μπορούν επίσης να είναι αποτέλεσμα αφυδάτωσης και μειωμένης απόδοσης. Σε μελέτη του Hargreaves και της ομάδας του φάνηκε ότι η κατανάλωση υγρών μείωσαν τη χρησιμοποίηση μυϊκού γλυκογόνου κατά 16% κατά την άσκηση αντοχής σε σύγκριση με την πλήρη αποχή από υγρά (94). Εάν ένας αφυδατωμένος αθλητής συνεχίζει να πραγματοποιεί άσκηση για μεγάλο διάστημα, τότε θα υπάρξει ταχύτερη εξάντληση γλυκογόνου και άρα μείωση της απόδοσης. Η υψηλότερη χρησιμοποίηση γλυκογόνου σε αφυδατωμένη κατάσταση προκαλείται ίσως από την υψηλότερη θερμοκρασία σώματος και μυών (95). Εάν η θέρμανση είναι επαρκής, η επαγόμενη αφυδάτωση μειώνει την καρδιακή παροχή και την ροή αίματος στους σκελετικούς μύες (89), μία μειωμένη ροή αίματος στους μύες καθιστά δύσκολη τη πραγματοποίηση αερόβιου μεταβολισμού και έτσι μειώνεται η ένταση της άσκησης.

Λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό να συνδέσουν τα αποτελέσματα της αφυδάτωσης λόγω άσκησης στην συνολική χρησιμοποίηση των υποστρωμάτων και στον μεταβολισμό των σκελετικών μυών. Η ομάδα του Handreaves et al. (94) μελέτησε τα αποτελέσματα της αφυδάτωσης κατά τη διάρκεια της άσκησης στον μυϊκό μεταβολισμό σε άνδρες αθλητές οι οποίοι προπονούνταν σε περιβάλλον 20-22°C και φάνηκε ότι αφυδάτωση

3% του ΣΒ αυτών συνδέεται με σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία στους μύες και στον πρωκτό κατά τη διάρκεια άσκησης 120 λεπτών ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην θερμοκρασία πρωκτού ανάμεσα στα πειράματα σε καμία άλλη χρονική στιγμή. Ο λόγος της ανταλλαγής αερίων ήταν σημαντικά υψηλότερος όταν δεν δόθηκαν υγρά στους αθλητές κατά το 60 και 120 λεπτό της άσκησης ενώ οι διαφορές αυτές ήταν ακόμα μεγαλύτερες μετά τη δεύτερη ώρα της άσκησης. Στη μελέτη αναφέρθηκε χρησιμοποίηση γλυκογόνου 16% υψηλότερη κατά το 120 λεπτό (94). Άλλες μελέτες που αναφέρουν παρόμοια αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας. Η ομάδα του Gonzalez- Alonso (89) πραγματοποίησαν πείραμα όπου αποτελούνταν από επτά κύκλους σε άνδρες αθλητές μέχρι εξάντλησης (135 ± 4 λεπτά) σε θερμό περιβάλλον (35°C) ενώ παράλληλα πραγματοποιούσαν αφυδάτωση $\approx 3,9$ ΣΒ των αθλητών. Στα αποτελέσματα παρατήρησαν υψηλότερη οξείδωση υδατανθράκων, 45% υψηλότερη χρησιμοποίηση μυϊκού γλυκογόνου, υψηλότερη συσσώρευση γαλακτικού οξέος και υψηλότερη έκκριση γαλακτικού οξέος στους ιστούς του ποδιού που πραγματοποιούσε άσκηση σε σχέση με την κατάσταση ενυδάτωσης. Επιπλέον, ο Febbraio (95) εξετάζοντας την υπάρχουσα βιβλιογραφίες που αφορούσε την πραγματοποίηση άσκησης σε θερμό περιβάλλον παρατήρησε ότι όταν η θερμοκρασία μυών των αφυδατωμένων αθλητών είναι υψηλότερη σε σχέση με το control τότε πραγματοποιείται υψηλότερη μυϊκή γλυκογονόλυση.

Επιπλέον, η αφυδάτωση έχει φανεί ότι οδηγεί σε αύξηση του Δείκτη Αντιλαμβανόμενης Κόπωσης (Rate of Perceived Exertion, RPE) (96) με παράλληλη μείωση του κινήτρου για άσκηση. Οι δύο παραπάνω παράγοντες είναι ιδιαίτερα σημαντικοί εάν αναλογιστούμε πόσο σημαντική είναι η ανάγκη για ισχυρή διάθεση για άσκηση από αθλητές επιπέδου, κυρίως, προκειμένου να διατηρηθούν υψηλές αποδόσεις (97).

Δεν θα πρέπει τέλος να παραλείψουμε την επίδραση της αφυδάτωσης στην πνευματική λειτουργία. Σε μελέτη του Shirreffs και των συνεργατών του φάνηκε μέσω ερωτηματολογίων ότι η στέρηση υγρών για 13,24 και 37 ώρες μείωνε την ικανότητα των εθελοντών να συγκεντρωθούν και καθώς αυξανόταν ο χρόνος στέρησης η ικανότητα εγρήγορσης τους αυξανόταν αισθητά (98). Συνεπώς, καταλαβαίνουμε ότι όταν στην άσκηση η συγκέντρωση και η εγρήγορση αποτελούν θέματα μείζονος σημασίας η επαρκής ενυδάτωση πρέπει να εξασφαλίζεται στους αθλητές (99, 100).

2.4. Αφυδάτωση σε Αθλήματα Αντοχής

Αθλήματα αντοχής θεωρούνται τα αθλήματα τα οποία έχουν διάρκεια μεγαλύτερη της μίας ώρας. Η ενυδάτωση θεωρείται απαραίτητη όταν η διάρκεια του αθλήματος είναι μεγαλύτερη της μίας ώρας ενώ ακόμα και σε συνεχόμενα αγωνίσματα με μικρά χρονικά κενά οι αθλητές μπορούν να παρουσιάσουν αφυδάτωση ως αποτέλεσμα κάποιου προηγούμενου αγωνιστικού μέρους.

Η σωστή ενυδάτωση των αθλητών αποτελεί πολύ σημαντική υπόθεση για την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και προκειμένου να διασφαλιστεί η αποφυγή της μείωσης του όγκου του αίματος, σωστή λειτουργία της καρδιάς και των μυών. Προοδευτική αφυδάτωση έως της τάξης του 5% σε ένα ποδηλάτη σε διάστημα δύο ωρών προκαλεί όλα τα παραπάνω προβλήματα και επιπλέον τα εξής: εγκεφαλικές δυσλειτουργίες, πρόωρη κόπωση, αυξημένη πίεση, ελαττωμένη αιμάτωση δέρματος, εγκεφάλου και μυών, αυξημένο μεταβολισμού γλυκογόνου και μειωμένη «διάθεση» για νίκη λόγω μεταβολών στο νευρικό σύστημα (4, 72, 101, 102)

Πληθώρα μελετών έχει μελετήσει την επίδραση της αφυδάτωσης στη μέγιστη αερόβια ικανότητα και στη δυνατότητα παραγωγής έργου και δύναμης (69). Σε δροσερά κλίματα η μέγιστη αερόβια ικανότητα φάνηκε να μειώνεται όταν υπήρξε αφυδάτωση η οποία ξεπερνούσε το 3% του σωματικού βάρους του αθλητή (30). Σε ζεστά κλίματα, παρόλα αυτά, υπό- υδάτωση 2-4% του σωματικού βάρους προκαλεί μεγάλη μείωση στη μέγιστη αερόβια ικανότητα (103).

Η ικανότητα παραγωγής έργου αυξανόμενης έντασης μειώνεται όταν το άτομο είναι αφυδατωμένο (4). Η ικανότητα αερόβιας παραγωγής έργου έχει φανεί να μειώνεται μετά το οριακό σημεία αφυδάτωσης 1-2% του σωματικού βάρους, το οποίο δεν έχει δείξει να μειώνει τη μέγιστη ικανότητα παραγωγής έργου, ενώ περαιτέρω μειώσεις συμβάλουν στη μείωση της μέγιστης ικανότητας παραγωγής έργου (104). Η αφυδάτωση επιφέρει ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις στην αθλητική απόδοση όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε θερμό έναντι σε δροσερό περιβάλλον. Φαίνεται ότι το θερμορυθμιστικό σύστημα, ίσως λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας σώματος, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της αθλητικής απόδοσης σε συνθήκες αφυδάτωσης.

Προσπαθώντας να συνδέσουν την επίδραση της αυξημένης θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της αφυδάτωσης οι Adolph et al. σε μελέτη που πραγματοποίησαν έδειξαν ότι η αυξημένη θερμοκρασία μειώνει την υπομέγιστη ικανότητα παραγωγής έργου σε όλα τα επίπεδα

υδάτωσης. Επιπλέον, η ικανότητα παραγωγής έργου ζημιώνεται περαιτέρω από την αφυδάτωση. Για παράδειγμα, η άσκηση στους 43°C μείωσε την ικανότητα παραγωγής έργου κατά περίπου 25% και η 2,5% αφυδάτωση την μείωσε περίπου στα ίδια ποσοστά. Όταν όμως οι εθελοντές υποβλήθηκαν και στα δύο παράλληλα η ικανότητα παραγωγής έργου μειώθηκε κατά 50% περαιτέρω (76).

Η αφυδάτωση δυσχεραίνει την αντοχή στους αθλητές. Σε μελέτη ο Armstrong και οι συνεργάτες του μελέτησαν την απόδοση αθλητών στα 1500, 5000 και 10000 μέτρα όταν ήταν ενυδατωμένοι και αφυδατωμένοι αντίστοιχα. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν αφυδάτωση 2% του σωματικού βάρους των εθελοντών με χρήση διουρητικών τα οποία μείωσαν τον όγκο πλάσματος κατά 11%. Φάνηκε ότι η αθλητική απόδοση μειώθηκε κυρίως στις μεγάλες αποστάσεις των 5000 και 10000 μέτρων στην περίπτωση που ο αθλητής ξεκινούσε τον αγώνα αφυδατωμένος (105). Σε παρόμοια μελέτη σε κοπηλάτες οι Burge et al. βρήκαν ότι οι αφυδατωμένοι αθλητές χρειάστηκαν 22 δευτερόλεπτα παραπάνω προκειμένου να ολοκληρώσουν δοκιμασία 2000 μέτρων κοπηλάτησης σε σχέση όταν ήταν ενυδατωμένοι. Επιπλέον, η αφυδάτωση φάνηκε να μειώνει την μέση δύναμη κατά 5% (106).

Μία πολύ ενδιαφέρουσα μελέτη πραγματοποίησαν οι Sawka et al. οι οποίοι προσπάθησαν να αξιολογήσουν την επίδραση της αφυδάτωσης και της υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο όπου οι εθελοντές κλήθηκαν να πραγματοποιήσουν διάδρομο στο 25% της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου για 140 λεπτά σε ζεστό και υγρό περιβάλλον ($T = 49^{\circ}\text{C}$ και υγρασία = 20%) και όντας είτε ενυδατωμένοι είτε αφυδατωμένοι κατά 3, 5 & 7% του σωματικού τους βάρους. Όλοι οι εθελοντές κατάφεραν να ολοκληρώσουν τη δοκιμασία όταν ήταν αφυδατωμένοι κατά 3% ενώ 7 στους 8 εθελοντές ολοκλήρωσαν ενώ ήταν κατά 5% αφυδατωμένοι. Όταν οι εθελοντές ξεκίνησαν τη δοκιμασία όντας 7% αφυδατωμένοι οι 6 από τους 8 δεν κατάφεραν να ολοκληρώσουν τα 64 λεπτά (κατά μέσο όρο) (71). Συνεπώς, ένα εμφανές εύρημα είναι ότι η αφυδάτωση αυξάνει τα περιστατικά εξάντλησης σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας.

Μία ακόμη μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε δρομείς, εξετάστηκαν εθελοντές οι οποίοι κλήθηκαν να περπατήσουν για 6 ώρες σε διάδρομο με ταχύτητα 2,2 km/ hour. Οι εθελοντές χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες, στην πρώτη ομάδα δεν καταλάωναν υγρά, στη δεύτερη ομάδα έπιναν όσο νερό ήθελαν προκειμένου να καλύψουν το αίσθημα της δίψας και στην Τρίτη ομάδα τους χορηγούνταν νερό ανάλογα με τις απώλειες τους σε ιδρώτα. Τα αποτελέσματα ήταν σημαντικά. Στην πρώτη ομάδα παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας ορθού, έντονη

κόπωση και αποτυχία ολοκλήρωσης της δοκιμασίας, στη δεύτερη ομάδα παρουσιάστηκε επίσης κόπωση και μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας ορθού αλλά ολοκλήρωσαν την δοκιμασία. Τέλος, στην τρίτη ομάδα η θερμοκρασία ορθού αυξήθηκε ακόμη λιγότερο σε σχέση με τις προηγούμενες ομάδες ενώ δήλωσαν ότι θα μπορούσαν να συνεχίσουν το περπάτημα. Βασικό μειονέκτημα της παρούσας μελέτης ήταν ότι δεν μετρήθηκε ο βαθμός αφυδάτωσης πριν την έναρξη της δοκιμασίας (75).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε ποδηλάτες μετρήθηκε ο αιματοκρίτης και η αιμοσφαιρίνη πριν γίνει οποιαδήποτε παρέμβαση προκειμένου ναδειχθεί ότι ο βαθμός υδάτωσης τους ήταν παρόμοιος. Οι ποδηλάτες κλήθηκαν να ποδηλατήσουν σε ανηφορική πίστα. Στην πρώτη ομάδα δόθηκε συμπλήρωμα υδατανθράκων αραιωμένο με μεγαλύτερο όγκο υγρών σε σχέση με τη δεύτερη ομάδα, με σκοπό τη συσχέτιση μεταξύ της μείωσης βάρους και της αφυδάτωσης σε σχέση με την απόδοση. Φάνηκε ότι η αφυδάτωση είχε ισχυρότερη επίδραση στη μείωση της απόδοσης εν συγκρίσει με το βάρος που είχαν να κουβαλήσουν οι ποδηλάτες σε άσκηση 88% του $\text{VO}_2 \text{ max}$ (107).

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι η αφυδάτωση σε αθλητές μπορεί να κυμαίνεται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα εφόσον ένας αθλητής υψηλών αποδόσεων μπορεί να χάσει μέσω του ιδρώτα από 100ml/ h έως 3L/ h (κυρίως σε θερμά κλίματα). Το όριο του 2% αφυδάτωση που ορίστηκε από την ερευνητική κοινότητα και το οποίο μπορεί να μειώσει την απόδοση είναι δυνατό να συμβεί σε οποιοδήποτε αθλητή όταν η εφίδρωση υπερβαίνει την πρόσληψη υγρών κατά την άσκηση. Παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση στην απώλεια υγρών μέσω εφίδρωσης για κάθε αθλητή ενώ η αναπλήρωση υγρών μπορεί να γίνει με ρυθμό 1-1,3 L/ h χωρίς να παρουσιαστούν γαστρεντερικές διαταραχές. Παρόλα αυτά βέλτιστο σχήμα φαίνεται να είναι αυτό κατά το οποίο μετράται η εφίδρωση του εκάστοτε αθλητή, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η μέγιστη αερόβια ισχύς και το είδος της προπόνησης και έτσι η αναπλήρωση είναι εξατομικευμένη (100).

2.5. Ήπια αφυδάτωση σε Αθλήματα Αντοχής

Η πλειοψηφία των υπάρχουσών ερευνών συμφωνεί ότι το κρίσιμο «κατώφλι» πέραν του οποίου η αφυδάτωση φαίνεται να συμβάλει αρνητικά στην αθλητική απόδοση είναι το 2% του συνολικού Σωματικού Βάρους των αθλητών (108). Παρόλα αυτά όμως, σημαντική μείωση της απόδοσης παρατηρείται ακόμα και όταν τα ποσοστά αφυδάτωσης είναι μικρότερα του 2% του ΣΒ των αθλητών (109).

Η ήπια αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της άσκησης μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα σημαντική καθώς φαίνεται ότι μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη κόπωση. Οι καρδιοαναπνευστικές και θερμορυθμιστικές συνέπειες που συνδέονται με την αφυδάτωση έχουν πλήρως αναφερθεί καθώς και το αντίκτυπο αυτών το οποίο συνδέεται άμεσα με το βαθμό της αφυδάτωσης στους αθλητές αυτούς (21, 27, 110-114). Αφυδάτωση μικρότερη από 2% του σωματικού βάρους των αθλητών έχει αναφερθεί συστηματικά ότι μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του καρδιακού παλμού, αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα, του δείκτη αντιλαμβανόμενης κόπωσης και της ωσμωμοριακότητας.

Πρώτοι ο Adolph και η ομάδα του έδειξε ότι η σταδιακή αφυδάτωση μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρη κόπωση σε άσκηση μέτριας έντασης (περπάτημα) σε θερμό περιβάλλον (76). Παρόλα αυτά τα δεδομένα αυτά δεν αναλύθηκαν στατιστικά με αποτέλεσμα να θεωρούνται παρατηρήσεις. Ένας μεγάλος αριθμός από μελέτες που ακολούθησαν παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα.

Αρχικά, οι Walsh με την ομάδα του σε μελέτη που πραγματοποίησαν σε ποδηλάτες αθλητές έδειξαν ότι η ήπια αφυδάτωση επιδρά αρνητικά, αυξάνοντας τον δείκτη αντιλαμβανόμενης κόπωσης (RPE), και επίσης αυξάνεται η αντιδουριτική ορμόνη πλάσματος και οι διαφορές αυτές ήταν στατιστικά σημαντικές. Αντίθετα, δεν φάνηκε να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε δείκτες όπως η συγκέντρωση ηλεκτρολυτών στο πλάσμα, ο ρυθμός εφίδρωσης, οι καρδιακοί παλμοί, η θερμοκρασία σώματος, ανταλλαγές αερίων, μυϊκή δύναμη στο πόδι. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν έξι προπονημένοι ποδηλάτες οι οποίοι κλήθηκαν να ποδηλατήσουν για 60 λεπτά στο 70% της VO_2 peak και έπειτα στο 90% της VO_2 peak μέχρι εξάντλησης σε θερμό περιβάλλον είτε έχοντας καταναλώσει συγκεκριμένη ποσότητα υγρών είτε έχοντας κάνει πλήρη αποχή από υγρά. Η αφυδάτωση που μετρήθηκε ήταν 0.16 ± 0.39 στην περίπτωση που δόθηκαν υγρά στους αθλητές και 1.3 ± 0.22 στην περίπτωση όπου οι αθλητές απείχαν από τα υγρά όπως και ο χρόνος εξάντλησης ήταν στατιστικά μικρότερος στους αθλητές που δεν κατανάλωσαν υγρά (9.8 ± 3.9 έναντι 6.8 ± 3.0 λεπτά) στους αθλητές που δόθηκαν υγρά (109).

Οι Heather M Logan-Sprenger και η ομάδα του (115) σε μελέτη τους σε δείγμα 9 γυναικών ποδηλατών παρατήρησαν ότι αφυδάτωση 1% του ΣΒ αυτών συνδέεται με αυξημένο καρδιακό παλμό, θερμοκρασία πυρήνα, κλίμακα αντιλαμβανόμενης κόπωσης, οξείδωσης CHO σε όλο το σώμα και μυϊκή γλυκογονόλυση και τα δεδομένα αυτά παρατηρούνται μετά

το πέρας της πρώτης ώρας της άσκησης. Επιπλέον, η αυξημένη μυϊκή γλυκογονόλυση στην αφυδατωμένη κατάσταση φάνηκε να συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα και μυών κυρίως και δευτερεύοντος με την αύξηση της θερμοκρασίας της περιφέρειας του σώματος.

Σε μελέτες έχει φανεί ότι όταν η πραγματοποίηση άσκησης συμβαίνει σε θερμό περιβάλλον η θερμοκρασία πυρήνα αυξάνεται κατά $0,15-0,20^{\circ}\text{C}$ για κάθε απώλεια 1% ΣΒ λόγω εφίδρωσης (27, 71).

Η ήπια αφυδάτωση μπορεί να επηρεάσει τις φυσιολογικές αποκρίσεις του οργανισμού των αθλητών κατά τη διάρκεια άσκησης σε θερμό περιβάλλον. Έτσι, ο Casa και η ομάδα του (65) σε μελέτη τους που πραγματοποιήθηκε σε διαφορετικές συνθήκες (ενυδατωμένοι κατά τη διάρκεια αγώνα, αφυδατωμένοι κατά τη διάρκεια αγώνα, ενυδατωμένοι σε υπομέγιστο test και αφυδατωμένοι σε υπομέγιστο test) φάνηκε ότι όταν οι αθλητές ήταν αφυδατωμένοι εμφάνισαν μεγαλύτερη απώλεια ΣΒ συγκρίνοντας και τις δύο καταστάσεις (αφυδατωμένοι κατά τον αγώνα και αφυδατωμένοι σε υπομέγιστη προσπάθεια), οι αφυδατωμένοι αθλητές είχαν χαμηλότερη απόδοση κατά τη δοκιμασία αγώνα, η εντερική θερμοκρασία και οι καρδιακοί παλμοί εμφανίστηκαν υψηλότεροι στους αφυδατωμένους αθλητές κατά $0,22^{\circ}\text{C}$ και κατά 6 παλμοί ανά λεπτό αντίστοιχα για κάθε 1% αύξηση της αφυδάτωσης στους αθλητές.

Ήπια αφυδάτωση χωρίς υπερθερμία κατά την άσκηση φαίνεται να επιδρά αρνητικά στην εγρήγορση και στην working memory ενώ παράλληλα φαίνεται να αυξάνει την ένταση/ ανησυχία και να οδηγεί σε πρόωρη κόπωση. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε 25 γυναίκες οι οποίες χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες κλίθηκαν να πραγματοποιήσουν οκτάωρη άσκηση έχοντας διαφορετικό προφίλ ενυδάτωσης σε κάθε μία ημέρα, είτε αφυδάτωση μέσω άσκησης χωρίς χρήση διουρητικών, είτε αφυδάτωση μέσω άσκησης και χρήσης διουρητικών, είτε ενυδάτωση. Στην περίπτωση όπου οι γυναίκες ήταν ήπια αφυδατωμένες εμφάνισαν υψηλότερη ωσμωμοριακότητα πλάσματος. Συνολικά, σε συνθήκες ήπιας αφυδάτωσης οι εθελόντριες φάνηκε να έχουν μειωμένη διάθεση, αυξημένη αντίληψη της δυσκολίας πραγματοποίησης έργου, μειωμένη συγκέντρωση και συμπτώματα πονοκεφάλου (116).

Σε πρόσφατη μελέτη με σκοπό την συσχέτιση της ήπιας αφυδάτωσης και την ενεργειακής πρόσληψης μετά την άσκηση δεν φάνηκε να παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στην ενεργειακή πρόσληψη είτε η αφυδάτωση ήταν της τάξης του 2% του ΣΒ είτε ήταν της τάξης

του 1% του ΣΒ. Όμως, παρατηρήθηκε χαμηλότερη έκκριση της ορμόνης γρελίνης, η οποία ρυθμίζει την όρεξη, όταν οι εθελοντές ήταν αφυδατωμένοι σε σχέση με όταν ήταν ήπια αφυδατωμένοι (117).

Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι η βιβλιογραφία αφήνει ένα κενό στο κομμάτι της ήπιας αφυδάτωσης (1% ΣΒ) και κατά πόσον αυτή μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην απόδοση των αθλητών αντοχής και σε διάφορους δείκτες.

2.6. Ακούσια Αφυδάτωση

Το φαινόμενο της καθυστερημένης πλήρους επανυδάτωσης μετά από απώλεια υγρών, παρά τη δυνατότητα παροχής και κατανάλωσης νερού και υγρών, έχει χαρακτηριστεί με τον όρο ακούσια αφυδάτωση και εμφανίζεται κατά κόρον ακόμα και στους επαγγελματίες αθλητές με σοβαρότερες ή μη επιπτώσεις στην υγεία και την αθλητική απόδοση αυτών (118). Έτσι, η ακούσια αφυδάτωση είναι ένα συχνό φαινόμενο σε αθλητικούς χώρους και elite αθλητές. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε ποδοσφαιρική ομάδα έδειξε ότι επαγγελματίες ποδοσφαιριστές δεν κατανάλωναν επαρκώς υγρά ακόμα και όταν αυτά ήταν διαθέσιμα (119) και τα δεδομένα αυτά προέκυψαν ανεξάρτητα των περιβαλλοντικών συνθηκών και παρουσιάστηκε τόσο κατά την προπονητική περίοδο όσο και κατά τη διάρκεια του αγώνα (8, 12, 120). Σε άλλη μελέτη ο Kurdak και οι συνεργάτες του μελέτησαν το παραπάνω φαινόμενο σε 22 ποδοσφαιριστές και παρατήρησαν σημαντική αφυδάτωση των αθλητών παρόλη τη διαθεσιμότητα υγρών στον αθλητικό χώρο (121). Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν δειχθεί σε άλλα αθλήματα όπως η καλαθοσφαίριση, το χόκεϊ επί πάγου όπου παρόλη την διαθεσιμότητα των υγρών και τον επαρκή διαθέσιμο χρόνο για κατανάλωση αυτών από τους αθλητές φαίνεται ότι η αφυδάτωση προκαλείται (122, 123).

Είναι εμφανές λοιπόν ότι η αφυδάτωση (ακούσια ή μη) είναι ένα φαινόμενο πολύ σύνηθες για πολλά αθλήματα, σε επαγγελματίες, είτε μη, αθλητές με αρνητικά αποτελέσματα τα οποία είναι γνωστά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Δείγμα

Για την πραγματοποίηση της μελέτης έλαβαν μέρος 10 υγιείς άνδρες ποδηλάτες, με καλή φυσική κατάσταση και συγκεκριμένα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά. Το δείγμα των εθελοντών αποτελούνταν από επαγγελματίες αθλητές οι οποίοι συμμετείχαν σε Πανελλήνιους αλλά και διεθνείς αγώνες κατά τη διάρκεια του έτους. Ο κάθε εθελοντής κλίθηκε να προσέλθει τρεις φορές στο εργαστήριο. Την πρώτη φορά λήφθηκαν τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του εθελοντή και έγιναν κάποιες εργομετρικές μετρήσεις ενώ τις δύο επόμενες φορές πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία ποδηλάτησης.

ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΘΕΛΟΝΤΩΝ:

Ηλικία (έτη)	29±6
Βάρος (kg)	75.5±6.9
Ύψος (cm)	178±7
BMI (kg/ m ²)	23.7±1.3
VO ₂ max (ml/ kg/min)	52.4±3.3

3.2. Πρωτόκολλο μελέτης

4. 1^η επίσκεψη

Κατά την πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκαν τα εργομετρικά test και λήφθηκαν τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των εθελοντών. Αναλυτικότερα:

Όσον αφορά τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά έγινε λήψη ημερομηνίας γέννησης (ηλικία), μέτρηση ύψους και βάρους με το αναστημόμετρο- ζυγαριά Seca 702- England, και μέτρηση σύστασης σώματος με χρήση της μεθόδου απορροφησιομετρίας με χρήση ακτινών X διπλής ενέργειας (DXA) διάρκειας 20 λεπτών. Η λειτουργία του DXA βασίζεται στο μοντέλο των τριών διαμερισμάτων (διαμερισματοποίηση του σώματος σε τρία διαμερίσματα, λιπώδης μάζα, ισχνή μάζα και μάζας οστικών μετάλλων). Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε το DXA LUNAR DPX- MD.

Για την αξιολόγηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου εφαρμόστηκε δοκιμασία μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου η οποία διαρκεί 10-15 λεπτά σε κυκλοεργόμετρο Monark 839E (124).

Έτσι, οι ποδηλάτες ξεκινούσαν να ποδηλατούν στα 100W και ανά 2 λεπτά αυξάνονταν η ένταση κατά 40W μέχρι εξάντλησης και στη συνέχεια καθορίζονταν το W_{max} .

Στη συνέχεια δόθηκαν στους εθελοντές γραπτές διατροφικές οδηγίες που στηρίζονταν σε πρωτόκολλο φόρτισης CHO το οποίο οι εθελοντές κλήθηκαν να το εφαρμόσουν την προηγούμενη ημέρα των δοκιμασιών που θα ακολουθούσαν. Επιπλέον δόθηκε οδηγία για αυξημένη κατανάλωση υγρών και νερού προκειμένου οι εθελοντές να ήταν επαρκώς ενυδατωμένοι (κατανάλωση 1.5-2 L) τις ημέρες των μετρήσεων. Συγχρόνως, ζητήθηκε οι εθελοντές να απέχουν από οποιαδήποτε επίπονη σωματική δραστηριότητα και κυρίως από προπόνηση καθώς και η αποφυγή κατανάλωσης υγρών που περιέχουν καφεΐνη (καφές...) και αλκοόλ την προηγούμενη ημέρα των μετρήσεων. Επίσης, όσον αφορά τις ημέρες των δοκιμασιών οι εθελοντές κλήθηκαν να προσέλθουν στο εργαστήριο νηστικοί (δίχως να έχουν καταναλώσει πρωινό) και με αθλητική ενδυμασία και εξοπλισμό. Δόθηκε ουροσυλλέκτης, προκειμένου να γίνει συλλογή των πρώτων πρωϊνών ούρων του εθελοντή την ημέρα της δοκιμασίας. Τέλος, οι εθελοντές κλήθηκαν να πάρουν 8-10 ώρες πριν τη δοκιμασία ένα θερμοευαίσθητο χάπι, διαμέτρου 12 mm και μήκους 20 mm (HQ, Inc, Palmetto, FL) με το ποίο θα γινόταν λήψη της εσωτερικής θερμοκρασίας.

5. 2^η & 3^η επίσκεψη

Κατά την δεύτερη και τρίτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμασίες σε ενυδατωμένη (EUH) και αφυδατωμένη κατάσταση (DEH). Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε προσομοίωση ποδηλατικού αγώνα τύπου circuit ο οποίος αποτελούνταν από τρία ανηφορικά επίπεδα. Υπήρχε ειδικά διαμορφωμένος θάλαμος με θερμοκρασία 30°C, τοποθέτηση ανεμιστήρα μπροστά στον δοκιμαζόμενο με συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου (Saunders AG 2005) και χρήση σταθερού προπονητηρίου για να τοποθετούν τα ποδήλατά τους (Computrainer, Race mate, Software 3D lab).

Παρακάτω παρατίθενται τα οκτώ στάδια που αποτελούνταν η κάθε μέτρηση:

ΣΤΑΔΙΟ 1:

Προσέλευση εθελοντή στις 08:00 π.μ. στο εργαστήριο. Αρχικά λαμβάνουμε τον ουροσυλλέκτη με τα πρώτα πρωϊνά ούρα του εθελοντή προκειμένου να ελεγχθεί το χρώμα, βάση της κλίμακας χρώματος ούρων (Urine color chart), και το ειδικό βάρος αυτών, USG, με

τη χρήση διαθλασίμετρου (ATAGO, hand- held Refractometer) προκειμένου να διαπιστώσουμε εάν ο εθελοντής είναι επαρκώς ενυδατωμένος έτσι ώστε να προχωρήσουμε στην έναρξη της δοκιμασίας. Στη συνέχεια ο εθελοντής κατανάλωσε πρωινό γεύμα που αποτελούνταν από 2 φέτες ψωμί τοστ σταρένιο και 1 κουταλιά της σούπας μέλι (επιλογή γεύματος υψηλού γλυκαιμικού δείκτη) προκειμένου να ξεκινήσει την δοκιμασία με επαρκώς ανεβασμένες τις αποθήκες γλυκογόνου. Ακολουθείται 10λεπτο χρονικό διάστημα όπου ο εθελοντής ξεκουράζεται και γίνεται αιμοληψία, και λήψη 24ωρου ημερολογίου καταγραφής από διαιτολόγο. Στη συνέχεια, γίνεται καταγραφή της καρδιακής συχνότητας (HR) μέσω χρήσης παλμογράφου Sueunto Tc6 ο οποίος τοποθετήθηκε στο ύψος της ξιφοειδούς απόφυσης των αθλητών και τέλος έγινε λήψη της θερμοκρασίας πυρήνα με χρήση του HQ, Inc.'s Core Body Temperature Monitoring System- μέσω του οποίου μπορούμε να πάρουμε σημαντικές πληροφορίες που αφορούν την πρόληψη και τη θεραπεία της θερμοπληξίας

ΣΤΑΔΙΟ 2:

Πραγματοποιείται στάδιο αφυδάτωσης μέσω άσκησης μέτριας έντασης (50% του VO_{2max}) διάρκειας μιας ώρας. Χωρίζεται σε δύο 25λεπτα μέρη όπου όταν ο εθελοντής ολοκληρώσει κατεβαίνει από το ποδήλατο για να ξεκουραστεί και να ζυγιστεί. Μετά το τέλος της μίας ώρας και μετά τη δεύτερη ζύγιση ακολουθεί καταγραφή του HR και της θερμοκρασίας πυρήνα. Τέλος, γίνεται αναπλήρωση υγρών ώστε να επιτευχθεί αφυδάτωση 0% και 1%, στην ενυδατωμένη και αφυδατωμένη μέτρηση αντίστοιχα.

ΣΤΑΔΙΟ 3:

Στο στάδιο αυτό οι εθελοντές θα ποδηλατήσουν απόσταση 5 km στο 50% της VO_{2max} που έχει υπολογισθεί από τη δοκιμασία μέτρησης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου που πραγματοποιήθηκε κατά την 1^η επίσκεψη του εθελοντή. Κατά τη διάρκεια της άσκησης καταγράφονται ανά χιλιόμετρο ο χρόνος (time), HR, ο μέσος όρος (average- AVR) των στροφών ανά λεπτό που ποδηλατούν οι ποδηλάτες (rpm) και της εσωτερική θερμοκρασίας ανά λεπτό. Τέλος, ακολουθεί ζύγιση και επαναλαμβάνεται η διαδικασία αναπλήρωσης υγρών, για την επίτευξη αφυδάτωσης 0% και 1% αντίστοιχα.

ΣΤΑΔΙΟ 4:

Στο στάδιο αυτό οι εθελοντές θα ποδηλατήσουν με μέγιστη προσπάθεια απόσταση 5km σε ανηφορική διαδρομή. Ανά χιλιόμετρο γίνεται καταγραφή του Time, HR, Tcore, και του μέσου όρου rpm. Ακολουθεί ζύγιση μετά το τέλος του ανηφορικού test και έχοντας σκουπίσει τον ιδρώτα τους. Ακολουθεί αιμοληψία και αναπλήρωση υγρών ανάλογα με τη μέτρηση που πραγματοποιείται (0% ή 1%).

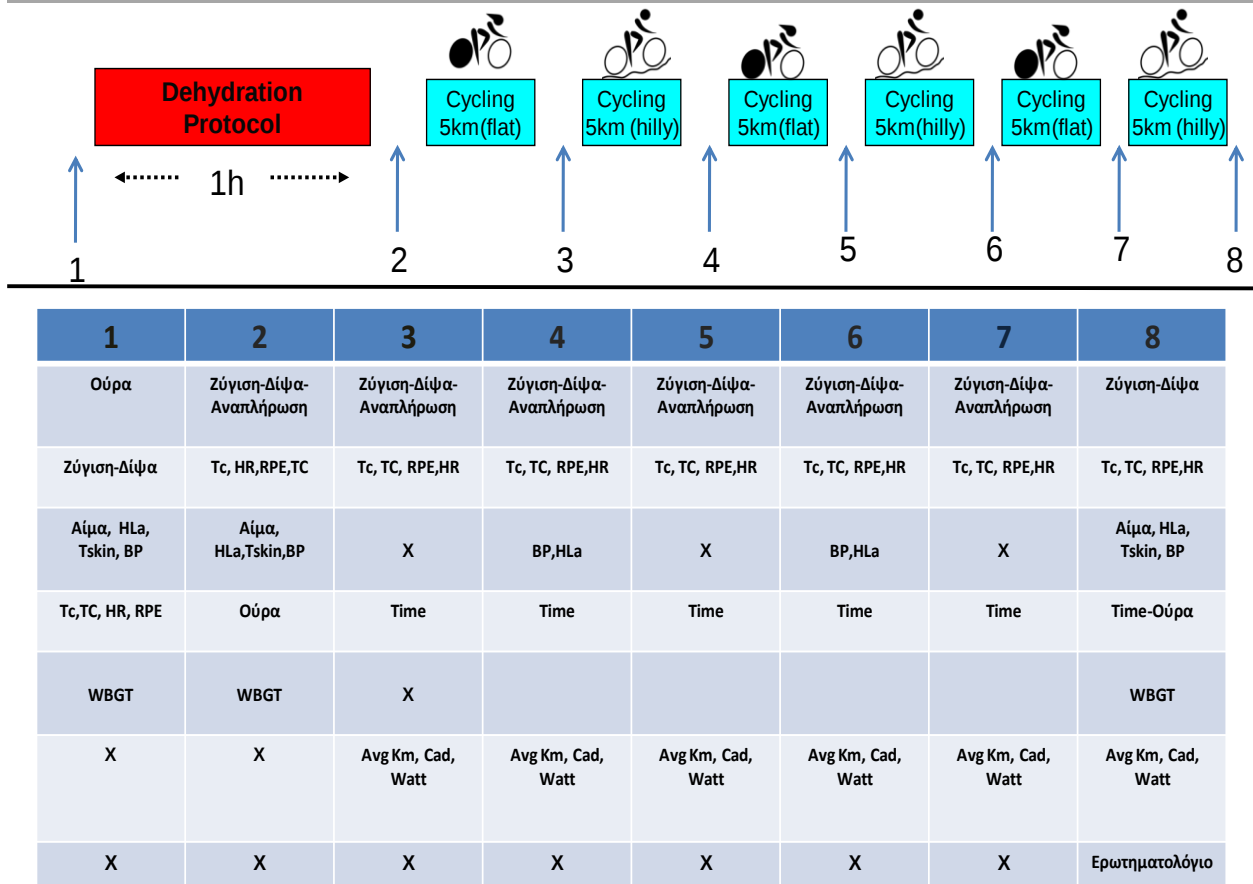
ΣΤΑΔΙΟ 5-8:

Επανάληψη των σταδίων 3 και 4 άλλες 2 φορές. Στο στάδιο 8 πραγματοποιείται και καταγραφή της τιμής WBGT.

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω δοκιμασίας παρέχεται στον εθελοντή ελαφρύ γεύμα. Φεύγοντας, οι εθελοντές προμηθεύονται με ουροσυλλέκτη για την επόμενη μέτρηση. Επίσης, του αποστέλλεται ηλεκτρονικά η ανάκληση 24ώρου που έχει ληφθεί προκειμένου να επαναλάβει όμοια διατροφή την προηγούμενη ημέρα της επόμενης μέτρησης.

Παρακάτω παρουσιάζεται διαγραμματικά το πρωτόκολλο της μελέτης:

Μεθοδολογία μελέτης



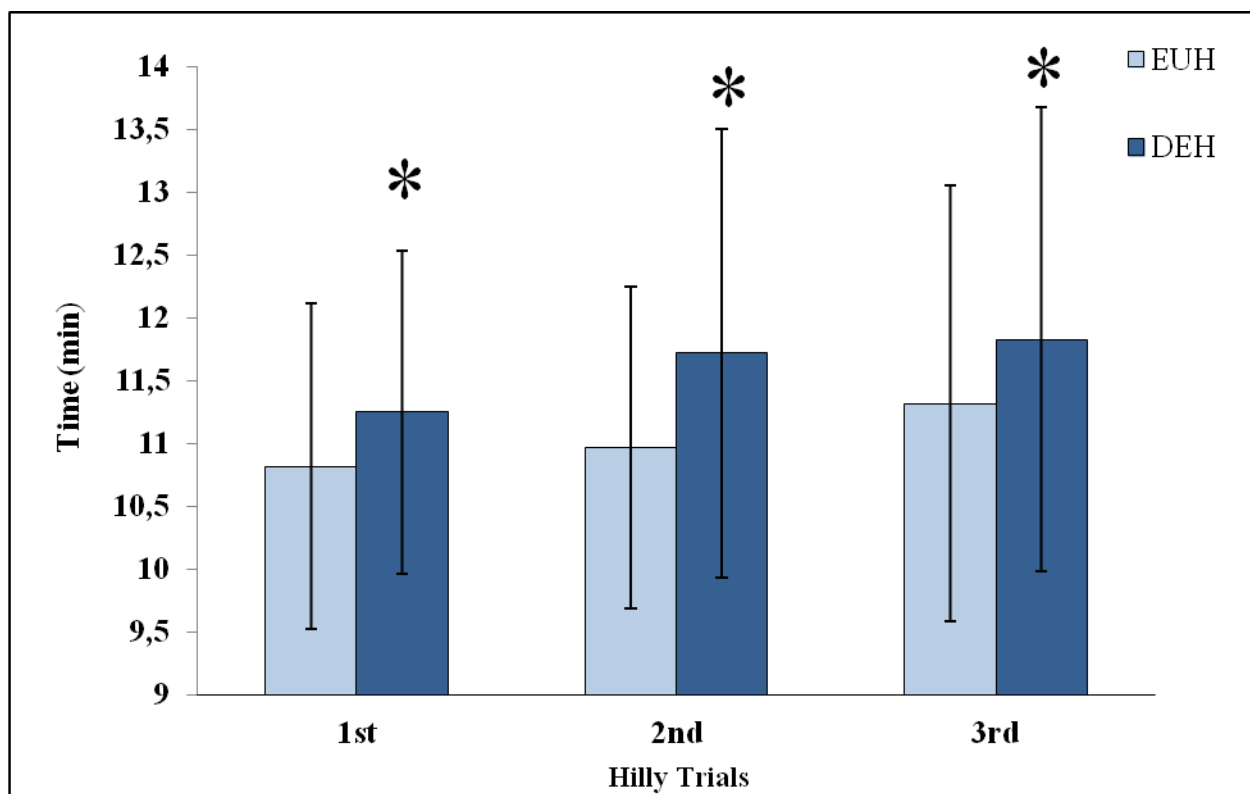
3.3. Στατιστική ανάλυση

Όλες οι μεταβλητές παρουσιάζονται ως μέση τιμή $\pm$ τυπική απόκλιση. Generalized Estimating Equations, GEE, χρησιμοποιήσαμε για να αξιολογηθούν οι διαφορές μεταξύ των EUH και DEH καθώς και στις αντίστοιχες χρονικές στιγμές (τρία ανηφορικά). Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας για αυτόν τον έλεγχο θα καθοριστεί το $P \leq 0.05$. Για τον έλεγχο των υποθέσεων της συγκεκριμένης μελέτης πρόκειται να χρησιμοποιηθεί με το στατιστικό πακέτο (SPSS 19.0).

3.4. Σκοπός της μελέτης

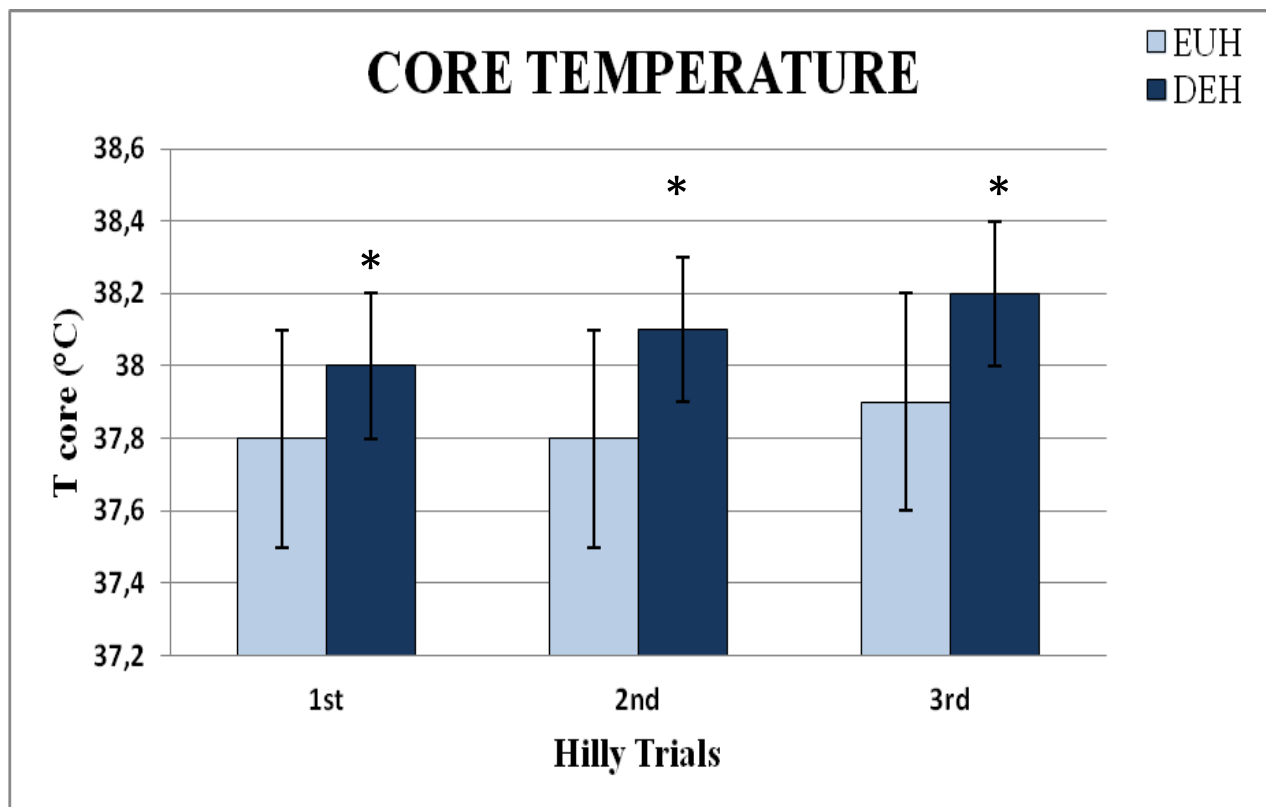
Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αξιολογήσει την επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης σε επαναλαμβανόμενες ανηφορικές δοκιμασίες κατά τη διάρκεια ενός circuit ποδηλασίας σε θερμό περιβάλλον (32.5 ± 0.5 °C).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αποτελέσματα



Διάγραμμα 1: Χρόνος ολοκλήρωσης δοκιμασίας στις ανηφορικές διαδρομές στην ενυδατωμένη (EUH) & αφυδατωμένη (DEH) κατάσταση

Ο χρόνος ολοκλήρωσης του ανηφορικού τμήματος της δοκιμασίας ήταν στατιστικά μικρότερος στους ενυδατωμένους αθλητές έναντι των αφυδατωμένων οι οποίοι χρειάστηκαν περισσότερο χρόνο προκειμένου να ολοκληρώσουν τη δοκιμασία και στα τρία ανηφορικά τμήματα ($P < 0.001$). Οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις στην ενυδατωμένη κατάσταση ήταν $10,82 \pm 1,3$ για το πρώτο $10,97 \pm 1,28$ για το δεύτερο ανηφορικό τμήμα και $11,32 \pm 1,73$ για το τελευταίο ανηφορικό τμήμα. Για την αφυδατωμένη κατάσταση οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις ήταν $11,25 \pm 1,28$ για το πρώτο $11,72 \pm 1,78$ για το δεύτερο ανηφορικό τμήμα και $11,83 \pm 1,85$ για το τρίτο ανηφορικό.

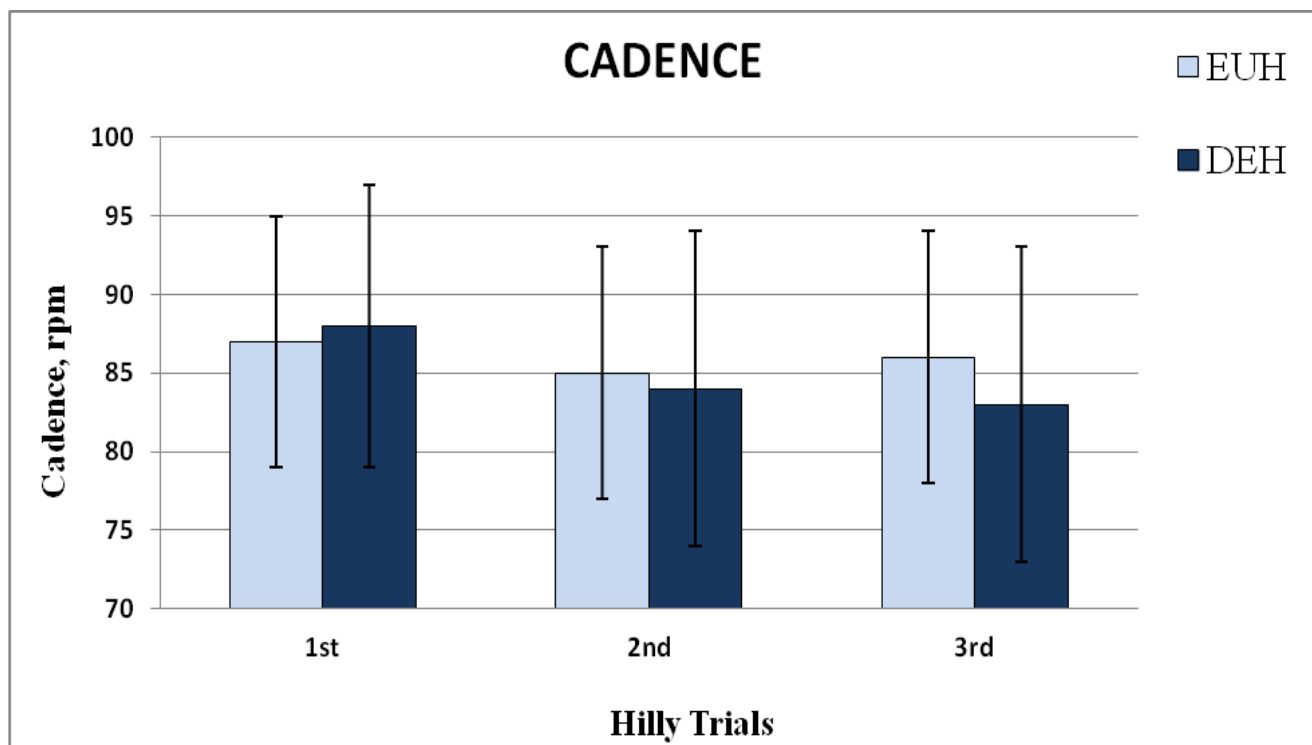


Διάγραμμα 2: Εσωτερική θερμοκρασία στις ανηφορικές διαδρομές στην ενυδατωμένη (EUH) & αφυδατωμένη (DEH) κατάσταση

Στην εσωτερική θερμοκρασία των αθλητών παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων και στις τρεις ανηφορικές διαδρομές με την ομάδα των αφυδατωμένων αθλητών να εμφανίζει στατιστικά υψηλότερη εσωτερική θερμοκρασία σε σχέση με τους ενυδατωμένους αθλητές ($P \leq 0.05$). Αναλυτικότερα, οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις στην ενυδατωμένη κατάσταση ήταν $37,8 \pm 0,3$ για το πρώτο και το δεύτερο ανηφορικό τμήμα και $37,9 \pm 0,3$ για το τελευταίο ανηφορικό τμήμα. Για την αφυδατωμένη κατάσταση οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις ήταν $38 \pm 0,2$ για το πρώτο, $38,1 \pm 0,2$ για το δεύτερο ανηφορικό τμήμα και $38,2 \pm 0,2$ για το τρίτο ανηφορικό.

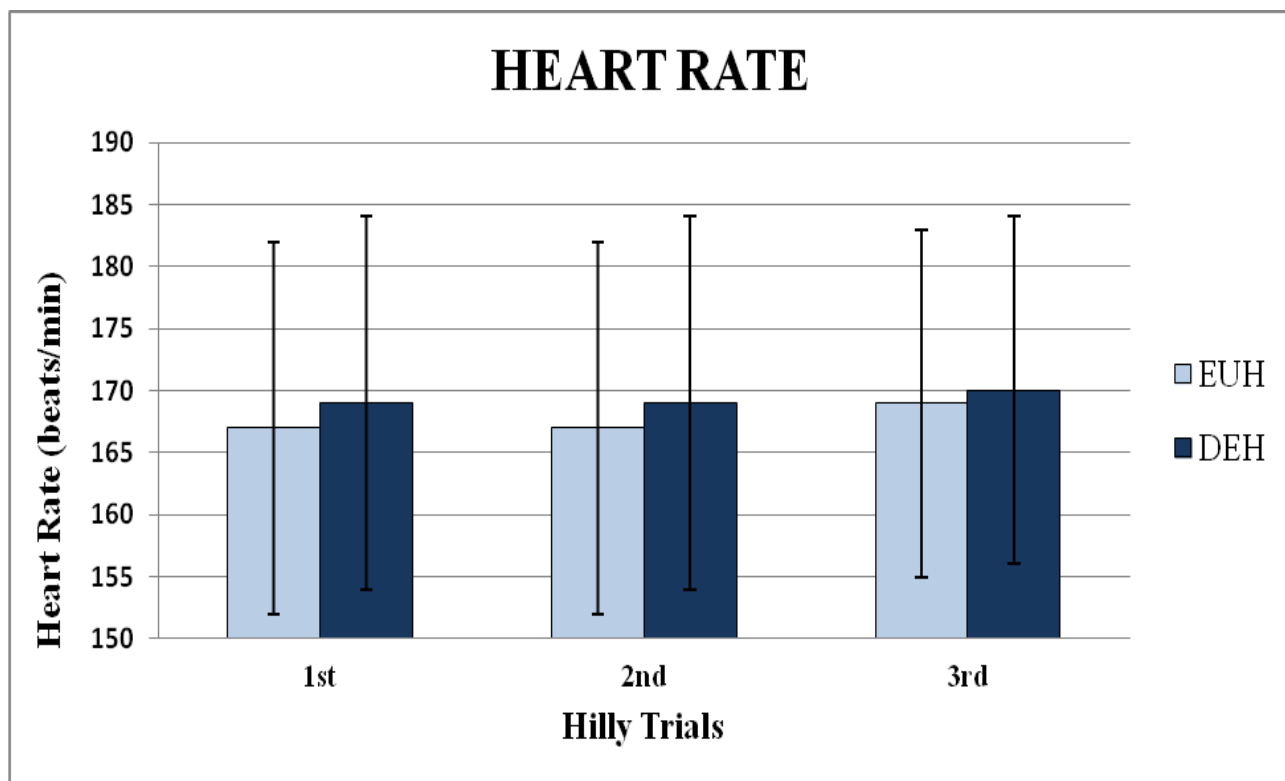
Το ποσοστό της αφυδάτωσης που εμφάνισαν οι αθλητές στο τέλος της άσκησης παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες με την ομάδα στην οποία προκλήθηκε ήπια αφυδάτωση να ολοκληρώνει τη δοκιμασία με υψηλότερο ποσοστό αφυδάτωσης έναντι της ενυδατωμένης ομάδας ($P < 0.001$). Συγκεκριμένα, η ομάδα των ενυδατωμένων αθλητών ολοκλήρωσε τη δοκιμασία με ποσοστό αφυδάτωσης 0,6% και τυπική

απόκλιση $\pm 0,1\%$. Αντίστοιχα, η ομάδα της ήπιας αφυδάτωσης ολοκλήρωσε τη δοκιμασία με μέσο όρο 1,7% αφυδάτωση και τυπική απόκλιση $\pm 0,1\%$.



Διάγραμμα 3: Στροφές ανά λεπτό στις ανηφορικές διαδρομές στην ενυδατωμένη (EUH) & αφυδατωμένη (DEH) κατάσταση

Στις στροφές ανά λεπτό δεν παρατηρήσαμε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά σε καμία από τις τρεις ανηφορικές δοκιμασίες είτε οι αθλητές ήταν επαρκώς ενυδατωμένοι είτε αφυδατωμένοι ($P \geq 0.05$). Αναλυτικότερα, ο μέσος όρος στροφών ανά λεπτό όταν οι αθλητές ήταν επαρκώς ενυδατωμένοι ήταν στην πρώτη ανηφορική διαδρομή 87 στροφές ανά λεπτό με τυπική απόκλιση ± 8 στροφές, στη δεύτερη ανηφορική διαδρομή 86 στροφές ανά λεπτό με τυπική απόκλιση ± 8 στροφές και στο τρίτο ανηφορικό τμήμα 86 στροφές ανά λεπτό με τυπική απόκλιση ± 8 στροφές. ενώ ο μέσος όρος των στροφών ανά λεπτό στην αφυδατωμένη κατάσταση ήταν 88 στροφές ανά λεπτό με τυπική απόκλιση ± 10 στροφές για την πρώτη ανηφορική διαδρομή, 84 στροφές ανά λεπτό με τυπική απόκλιση ± 10 στροφές για τη δεύτερη ανηφορική διαδρομή και 83 στροφές ανά λεπτό με τυπική απόκλιση ± 10 στροφές για την τρίτη ανηφορική διαδρομή.



Διάγραμμα 4: Καρδιακοί παλμοί στις ανηφορικές διαδρομές στην ενυδατωμένη (EUH) & αφυδατωμένη (DEH) κατάσταση

Στους καρδιακούς παλμούς των αθλητών στις ανηφορικές διαδρομές δεν παρατηρήθηκε κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο δοκιμασιών. Παρόλα αυτά φάνηκε η τάση ότι οι αφυδατωμένοι αθλητές διατηρούσαν υψηλότερους καρδιακούς παλμούς κατά τη διάρκεια και των τριών ανηφορικών τμημάτων. Αναλυτικότερα, ο μέσος όρος της καρδιακής συχνότητας όταν οι αθλητές ήταν επαρκώς ενυδατωμένοι ήταν στην πρώτη ανηφορική διαδρομή 167 ± 15 , στη δεύτερη ανηφορική διαδρομή 169 ± 14 και στο τρίτο ανηφορικό τμήμα 169 ± 14 , ενώ ο μέσος όρος της καρδιακής συχνότητας στην αφυδατωμένη κατάσταση ήταν 169 ± 15 για την πρώτη ανηφορική διαδρομή, 169 ± 15 για τη δεύτερη ανηφορική διαδρομή και 170 ± 14 για την τρίτη ανηφορική διαδρομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συζήτηση

Σύμφωνα με τις τελευταίες συστάσεις του Αμερικανικού Κολλεγίου Αθλητιατρικής γνωρίζουμε ότι ο στόχος της πρόσληψης υγρών κατά τη διάρκεια της άσκησης είναι η αποφυγή αφυδάτωσης κατά τη διάρκεια του αγώνα η οποία να ξεπερνά το 2% του ΣΒ του αθλητή διαφορετικά επέρχεται δραματική μείωση της αθλητικής απόδοσης. (40). Οι φυσιολογικοί παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στην μείωση της απόδοσης η οποία συνδέεται με την αφυδάτωση είναι η αύξηση καρδιαναπνευστικού τόνου, η υπερθερμία (heat strain), η μεταβολή της λειτουργίας του νευρικού συστήματος καθώς και μεταβολικές μεταβολές (70). Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια μία σειρά μελετών δείχνουν ότι και αφυδάτωση μικρότερη του 2% του ΣΒ του αθλητή επιδρά αρνητικά στην απόδοση αλλά και σε κάποιους δείκτες φυσιολογίας αυτού.

Δυστυχώς, μέχρι στιγμής υπάρχει μόνο ένας μικρός αριθμός μελετών που να δείχνει την επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης σε θερμορρυθμιστικούς δείκτες, δείκτες φυσιολογίας, νοητικούς αλλά και δείκτες συγκέντρωσης με τελικό αντίκτυπο την απόδοση των αθλητών. Πιο συγκεκριμένα, μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε γυναίκες ποδηλάτισσες έδειξε ότι αφυδάτωση 1% του ΣΒ των αθλητριών φάνηκε να επηρεάζει πολλούς δείκτες φυσιολογίας. Συγκεκριμένα, κατά την πρώτη ώρα άσκησης και ενώ η αφυδάτωση ήταν $\leq 1\%$ του ΣΒ των αθλητριών παρατηρήθηκε αυξημένος καρδιακός παλμός, θερμοκρασία πυρήνα, υψηλότερο σκορ στην κλίμακα αντιλαμβανόμενης κόπωσης, υψηλότερη οξείδωση CHO σε όλο το σώμα και υψηλότερη μυϊκή γλυκογονόλυση. Τέλος, φάνηκε ότι η αυξημένη μυϊκή γλυκογονόλυση οδήγησε σε αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα και μυών αρχικά και αύξηση της περιφερικής θερμοκρασίας δευτερευόντως (115). Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και μίας δεύτερης ερευνητικής ομάδας η οποία προσπαθώντας να δείξει τις αρνητικές επιδράσεις της αφυδάτωσης στους αθλητές πραγματοποίησε συγκρίσεις μεταξύ ενυδατωμένων και αφυδατωμένων αθλητών. Φάνηκε ότι για κάθε 1% μείωση του ΣΒ των αθλητών μέσω αφυδάτωσης υπήρξε μείωση τόσο της αθλητικής απόδοσης όσο και αύξηση της εντερικής θερμοκρασίας και των καρδιακών παλμών κατά $0,22^{\circ}\text{C}$ και 6 παλμοί ανά λεπτό αντίστοιχα (65). Αυτές οι μελέτες συμφωνούν και με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ως προς την μείωση της απόδοσης

Επιπλέον, οι περισσότερες μελέτες που αφορούν την επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης στην αθλητική απόδοση πραγματοποιούνται σε χαμηλές ή μέτριας έντασης δραστηριότητες ($\leq 60\% \text{VO}_2 \text{ max}$) ενώ λίγες είναι οι μελέτες που αναφέρονται στην αναγκαιότητα της επαρκούς

ενυδάτωσης σε αθλήματα υψηλής έντασης σε θερμό περιβάλλον. Όταν λοιπόν μετρήθηκε η επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης μέσω της κατανάλωσης- ή μη- υγρών πριν και κατά τη διάρκεια της άσκησης υψηλής έντασης (90% της VO₂ peak) η οποία ακολουθούνταν από 60 λεπτά άσκησης μέτριας έντασης (70% VO₂ peak) φάνηκε ότι επηρεάστηκε σημαντικά ο δείκτης αντιλαμβανόμενης κόπωσης και η περιεκτικότητα του πλάσματος σε αντιδιουρητική ορμόνη (109).

Όλα τα παραπάνω κάνουν σαφή την σχέση μεταξύ αφυδάτωσης και την επίδραση που έχει αυτή σε διάφορους ψυχολογικούς δείκτες όπως τη «διάθεση» των αθλητών για συνέχιση της άσκησης και βελτίωση της απόδοσης. Μελετώντας πάλι γυναίκες ποδηλάτισσες οι οποίες κλίθηκαν να πραγματοποιήσουν οκτάωρη δοκιμασία στο ποδήλατο έχοντας ήπια αφυδατωθεί πριν την έναρξη της δοκιμασίας παρατηρήθηκε στο τέλος υψηλότερη ωσμωμοριακότητα πλάσματος ενώ επίσης μειώθηκε η διάθεση τους για πραγματοποίηση άσκησης καθώς αντιλαμβάνονταν την άσκηση κοπιαστική, εμφάνισαν δυσκολία συγκέντρωσης και συμπτώματα πονοκεφάλου (116).

Συνεπώς καταλαβαίνουμε ότι η βιβλιογραφία αφήνει ένα κενό στο κομμάτι της ήπιας αφυδάτωσης (1% ΣΒ) και κατά πόσον αυτή μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην απόδοση των αθλητών αντοχής και σε διάφορους δείκτες φυσιολογίας.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αξιολογήσει εάν η ήπια αφυδάτωση (-1% του ΣΒ των αθλητών) επηρεάζει την απόδοση σε επαναλαμβανόμενες ανηφορικές δοκιμασίες κατά τη διάρκεια ενός circuit ποδηλασίας σε θερμό περιβάλλον (32.5±0.5 °C).

Από τα αποτελέσματα παρατηρήσαμε ότι ακόμα και η ήπια αφυδάτωση (1% του ΣΒ των αθλητών) μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης των αθλητών μέσω της μείωσης του χρόνου ολοκλήρωσης της δοκιμασίας. Οι αφυδατωμένοι αθλητές πραγματοποίησαν υψηλότερο χρόνο ολοκλήρωσης της δοκιμασίας και στα τρία ανηφορικά τμήματα του προπονητικού circuit που συμμετείχαν. Η ενυδατωμένη ομάδα πραγματοποίησε καλύτερο χρόνο με στατιστικά σημαντική διαφορά σε όλες τις ανηφορικές διαδρομές. Είναι σαφές ότι η παραμικρή βελτίωση του χρόνου είναι ιδιαίτερα σημαντική σε αθλήματα όπου η νίκη προκύπτει με πολύ μικρές διαφορές δευτερολέπτων όπως πολλές φορές γινόμαστε μάρτυρες στην ποδηλασία αντοχής (αγώνες τύπου circuit ή ατομικής χρονομέτρησης). Ακόμα και απειροελάχιστες διαφορές στον χρόνο μπορούν να κρίνουν το νικητή και είναι υπεύθυνες για τα νέα ρεκόρ των αθλητών.

Επιπλέον, η επί τοις εκατό αφυδάτωση που μετρήθηκε στο τέλος της δοκιμασίας ήταν στατιστικά υψηλότερη στην ομάδα των ήπια αφυδατωμένων αθλητών, γεγονός που μας υποδεικνύει ότι ακόμα και η ήπια αφυδάτωση κατά την έναρξη της άσκησης μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη απώλεια ΣΒ μετά την ολοκλήρωση της δοκιμασίας (122).

Η θερμοκρασία πυρήνα των αφυδατωμένων αθλητών ήταν στατιστικά υψηλότερη κατά την ολοκλήρωση όλων των ανηφορικών διαδρομών σε σχέση με τους ενυδατωμένους αθλητές. Γνωρίζοντας και από άλλες μελέτες ότι η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνεται κατά 0,15-0,2 °C για κάθε απώλεια 1% του ΣΒ των αθλητών οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ο έλεγχος της αφυδάτωσης απαιτείται προκειμένου να μπορούμε να προλάβουμε τα φαινόμενα θερμοπληξίας (71, 83). Στην βιβλιογραφία γνωρίζουμε ότι αφυδάτωση, η οποία συνδέεται με αύξηση της θερμοκρασίας πυρήνα (73, 74), μειώνει την απόδοση λόγω της αύξησης του καρδιαγγειακού τόνου κάτι που δεν φάνηκε στα δικά μας αποτελέσματα και συνεπώς οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το κομμάτι της αύξησης της θερμοκρασίας πυρήνα ήταν μάλλον θερμορυθμιστικό. Αναλυτικότερα, δεδομένου ότι οι αθλητές μας ξεκινούσαν την άσκηση όντας ήπια αφυδατωμένοι θα μπορούσαν να έχουν μειωμένη εφίδρωση και εξάτμιση ιδρώτα με αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος (88). Επίσης, μελέτες δείχνουν ότι σε αφυδατωμένους αθλητές μειώνεται η θερμοκρασία πυρήνα που μπορούσαν να ανεχθούν (68)

Επιπλέον, δείκτες φυσιολογίας που δεν μετρήθηκαν στη παρούσα μελέτη μπορεί να οδήγησαν σε βελτίωση της απόδοσης των αθλητών. Θεωρείτε λοιπόν περιορισμός της παρούσας μελέτης η μη μέτρηση του μεταβολισμού των υποστρωμάτων(115) .

Οι αφυδατωμένοι αθλητές ολοκλήρωσαν τη δοκιμασία έχοντας μειώσει κατά 1,7% κατά μέσο όρο το ΣΒ τους, συνεπώς, συμπεραίνουμε ότι η αφυδάτωση που προκλήθηκε επηρέασε αρνητικά παράγοντες του καρδιαγγειακού συστήματος και δείκτες θερμορύθμισης αυξάνοντας την εσωτερική θερμοκρασία των αθλητών.

Τα δεδομένα από την παρούσα μελέτη προσθέτουν την αφυδάτωση ως μία πολύ σημαντική παράμετρο η οποία θα πρέπει να συνυπολογίζεται από τους μελετητές στον σχεδιασμό τέτοιων μελετών σε αθλητές. Τα επίπεδα αφυδάτωσης λοιπόν θα πρέπει να συνυπολογίζονται μαζί με τις άλλες παραμέτρους, διαφορετικά υπάρχει πιθανότητα παρερμηνεύσης των αποτελεσμάτων.

Αντίθετα με τα παραπάνω, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις στροφές ανά λεπτό και στην καρδιακή συχνότητα μεταξύ της ομάδας των ενυδατωμένων και αφυδατωμένων αθλητών. Η αποτυχία να παρατηρήσουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές στους καρδιακούς παλμούς μπορεί να οφείλεται και στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε μικρό δείγμα εθελοντών στη μελέτη. Τέλος, οι στροφές ανά λεπτό μειώνονται όταν οι αθλητές είναι αφυδατωμένοι σε σχέση με όταν είναι ενυδατωμένοι.

Καταλήγοντας, συμπεραίνουμε ότι ακόμα και η ήπια αφυδάτωση μπορεί να επηρεάσει την ποδηλατική απόδοση αλλά και δείκτες φυσιολογίας των αθλητών όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε θερμό περιβάλλον. Η πρόληψη της αφυδάτωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική και θα πρέπει να ελέγχεται διεξοδικά. Συνεπώς, βασικό μέλημα των αθλητών θα πρέπει να είναι η διατήρηση της επαρκούς ενυδάτωσης καθ' όλη τη διάρκεια αλλά και πριν και μετά την άσκηση με απώτερο σκοπό την βέλτιστη απόδοση, κατάσταση και αποκατάσταση αντίστοιχα.

Η επίδραση της ήπιας αφυδάτωσης (<2% του ΣΒ των αθλητών) στην αθλητική απόδοση φαίνεται να επιδρά αρνητικά στην αθλητική απόδοση και δεδομένου ότι οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί είναι ακόμα πολύ λίγες απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση προκειμένου να μελετηθούν οι κλινικές επιπτώσεις αλλά και οι ακριβείς φυσιολογικοί μηχανισμοί του φαινομένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. *Nutr Rev* 2005;63:S40-54.
2. Armstrong LE, Johnson EC, Munoz CX, et al. Hydration biomarkers and dietary fluid consumption of women. *J Acad Nutr Diet* 2012;112:1056-61.
3. Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, Roberts WO. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:556-72.
4. Sawka MN, Montain SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr* 2000;72:564S-72S.
5. MD JU. Re: What percentage of the human body is composed of water.
6. Vander. *Human Physiology The mechanism of Body Function*.
7. Manz F. Hydration in children. *J Am Coll Nutr* 2007;26:562S-569S.
8. Maughan RJ, Shirreffs SM, Watson P. Exercise, heat, hydration and the brain. *J Am Coll Nutr* 2007;26:604S-612S.
9. Burke ER. High Tech Cycling. *Human Kinetics* 2003:241-264.
10. W.I. DAJ. *Macroelements, Water and Electrolytes in Sports Nutrition*. 1999.
11. Mitchell JW, Nadel ER, Stolwijk JA. Respiratory weight losses during exercise. *J Appl Physiol* 1972;32:474-6.

12. Maughan RJ, Shirreffs SM, Leiper JB. Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *J Sports Sci* 2007;25:797-804.
13. Reithner L. Insensible water loss from the respiratory tract in patients with fever. *Acta Chir Scand* 1981;147:163-7.
14. Mittleman KD. Influence of angiotensin II blockade during exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1996;72:542-7.
15. Norsk P. The Henry-Gauer hypothesis: is it still valid? *J Gravit Physiol* 1994;1:P114-7.
16. Kavouras SA. Assessing hydration status. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2002;5:519-24.
17. Lashmet FH, Newburgh LH. A Comparative Study of the Excretion of Water and Solids by Normal and Abnormal Kidneys. *J Clin Invest* 1932;11:1003-9.
18. Abbrecht PH, Vander AJ. Effects of chronic potassium deficiency on plasma renin activity. *J Clin Invest* 1970;49:1510-6.
19. Luft BJ, Payne D, Woodmansee D, Kim CW. Characterization of the *Cryptosporidium* antigens from sporulated oocysts of *Cryptosporidium parvum*. *Infect Immun* 1987;55:2436-41.
20. Bouchama A, Knochel JP. Heat stroke. *N Engl J Med* 2002;346:1978-88.
21. Nadel ER, Fortney SM, Wenger CB. Effect of hydration state of circulatory and thermal regulations. *J Appl Physiol* 1980;49:715-21.
22. Fortney SM, Koivisto VA, Felig P, Nadel ER. Circulatory and temperature regulatory responses to exercise in a warm environment in insulin-dependent diabetics. *Yale J Biol Med* 1981;54:101-9.
23. Kamijo Y, Okumoto T, Takeno Y, et al. Transient cutaneous vasodilatation and hypotension after drinking in dehydrated and exercising men. *J Physiol* 2005;568:689-98.
24. Fortney SM, Mikhaylov V, Lee SM, Kobzev Y, Gonzalez RR, Greenleaf JE. Body temperature and thermoregulation during submaximal exercise after 115-day spaceflight. *Aviat Space Environ Med* 1998;69:137-41.
25. Takamata A, Mack GW, Gillen CM, Jozsi AC, Nadel ER. Osmoregulatory modulation of thermal sweating in humans: reflex effects of drinking. *Am J Physiol* 1995;268:R414-22.
26. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:i-vii.
27. Montain SJ, Coyle EF. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol* 1992;73:903-10.
28. Sawka MN, Noakes TD. Does dehydration impair exercise performance? *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1209-17.
29. Greenleaf JE, Castle BL. Exercise temperature regulation in man during hypohydration and hyperhydration. *J Appl Physiol* 1971;30:847-53.
30. Buskirk ER, Iampietro PF, Bass DE. Work performance after dehydration: effects of physical conditioning and heat acclimatization. *J Appl Physiol* 1958;12:189-94.
31. Cadarette BS, Sawka MN, Toner MM, Pandolf KB. Aerobic fitness and the hypohydration response to exercise-heat stress. *Aviat Space Environ Med* 1984;55:507-12.
32. Sawka MN, Knowlton RG, Critz JB. Thermal and circulatory responses to repeated bouts of prolonged running. *Med Sci Sports* 1979;11:177-80.
33. Hubbard RW, Matthew CB, Francesconi R. Heat-stressed rat: effects of atropine, desalivation, or restraint. *J Appl Physiol* 1982;53:1171-4.
34. Bosco JS, Greenleaf JE, Bernauer EM, Card DH. Effects of acute dehydration and starvation on muscular strength and endurance. *Acta Physiol Pol* 1974;25:411-21.
35. Neuffer PD, Young AJ, Sawka MN. Gastric emptying during walking and running: effects of varied exercise intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1989;58:440-5.
36. National Health and Nutrient Examination Survey (NHANES III), Centers for Disease Control and Prevention: National Center for Health Statistics. 1997-2005.
37. Meyer F, Bar-Or O, Salsberg A, Passe D. Hypohydration during exercise in children: effect on thirst, drink preferences, and rehydration. *Int J Sport Nutr* 1994;4:22-35.
38. Meyer F, Bar-Or O. Fluid and electrolyte loss during exercise. The paediatric angle. *Sports Med* 1994;18:4-9.

39. What to Drink for proper Hydration during Exercise, 2011.
40. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:687-708.
41. Freund BJ, Montain SJ, Young AJ, et al. Glycerol hyperhydration: hormonal, renal, and vascular fluid responses. *J Appl Physiol* 1995;79:2069-77.
42. O'Brien C, Freund BJ, Young AJ, Sawka MN. Glycerol hyperhydration: physiological responses during cold-air exposure. *J Appl Physiol* 2005;99:515-21.
43. Latzka WA, Montain SJ. Water and electrolyte requirements for exercise. *Clin Sports Med* 1999;18:513-24.
44. Montain SJ, Chevront SN, Sawka MN. Exercise associated hyponatraemia: quantitative analysis to understand the aetiology. *Br J Sports Med* 2006;40:98-105; discussion 98-105.
45. Engell DB, Maller O, Sawka MN, Francesconi RN, Drolet L, Young AJ. Thirst and fluid intake following graded hypohydration levels in humans. *Physiol Behav* 1987;40:229-36.
46. IOM. Dietary reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium and Sulfate. National academy Press 2004:73-185.
47. Below PR, Mora-Rodriguez R, Gonzalez-Alonso J, Coyle EF. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:200-10.
48. Coyle EF. Fluid and fuel intake during exercise. *J Sports Sci* 2004;22:39-55.
49. Jeukendrup AE, Aldred S. Fat supplementation, health, and endurance performance. *Nutrition* 2004;20:678-88.
50. Walsh NP, Montague JC, Callow N, Rowlands AV. Saliva flow rate, total protein concentration and osmolality as potential markers of whole body hydration status during progressive acute dehydration in humans. *Arch Oral Biol* 2004;49:149-54.
51. Coyle EF. Carbohydrate feeding during exercise. *Int J Sports Med* 1992;13 Suppl 1:S126-8.
52. Jentjens RL, Cale C, Gutch C, Jeukendrup AE. Effects of pre-exercise ingestion of differing amounts of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. *Eur J Appl Physiol* 2003;88:444-52.
53. Wallis GA, Rowlands DS, Shaw C, Jentjens RL, Jeukendrup AE. Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:426-32.
54. Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, et al. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *J Appl Physiol* 2002;93:990-9.
55. Wemple RD, Lamb DR, McKeever KH. Caffeine vs caffeine-free sports drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise. *Int J Sports Med* 1997;18:40-6.
56. Maughan RJ, Fenn CE, Leiper JB. Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1989;58:481-6.
57. Maughan RJ. Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *Eur J Clin Nutr* 2003;57 Suppl 2:S19-23.
58. Shirreffs SM, Maughan RJ. Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses. *Am J Physiol* 1998;274:F868-75.
59. Maughan RJ, Griffin J. Caffeine ingestion and fluid balance: a review. *J Hum Nutr Diet* 2003;16:411-20.
60. Nose H, Mack GW, Shi XR, Nadel ER. Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol* 1988;65:325-31.
61. Kovacs EM, Martin AM, Brouns F. The effect of ad libitum ingestion of a caffeinated carbohydrate-electrolyte solution on urinary caffeine concentration after 4 hours of endurance exercise. *Int J Sports Med* 2002;23:237-41.
62. Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. *J Athl Train* 2000;35:212-224.
63. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1997;82:1229-36.

64. Cheuvront SN, Kolka MA, Cadarette BS, Montain SJ, Sawka MN. Efficacy of intermittent, regional microclimate cooling. *J Appl Physiol* 2003;94:1841-8.
65. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, et al. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train* 2010;45:147-56.
66. Stearns RL, Casa DJ, Lopez RM, et al. Influence of hydration status on pacing during trail running in the heat. *J Strength Cond Res* 2009;23:2533-41.
67. Barr SI. Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol* 1999;24:164-72.
68. Sawka MN, Young AJ, Latzka WA, Neufer PD, Quigley MD, Pandolf KB. Human tolerance to heat strain during exercise: influence of hydration. *J Appl Physiol* 1992;73:368-75.
69. Sawka MN, Coyle EF. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sport Sci Rev* 1999;27:167-218.
70. Cheuvront SN, Carter R, 3rd, Sawka MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2003;2:202-8.
71. Sawka MN, Young AJ, Francesconi RP, Muza SR, Pandolf KB. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J Appl Physiol* 1985;59:1394-401.
72. Sawka MN, Toner MM, Francesconi RP, Pandolf KB. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *J Appl Physiol* 1983;55:1147-53.
73. Allen TE, Smith DP, Miller DK. Hemodynamic response to submaximal exercise after dehydration and rehydration in high school wrestlers. *Med Sci Sports* 1977;9:159-63.
74. Saltin B. Aerobic and Anaerobic Work Capacity after Dehydration. *J Appl Physiol* 1964;19:1114-8.
75. Pitts GC, Johnson RE, Consolazio FC. Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. *Am J Physiol* 1944;142:253-259.
76. Adolph E, Brown AH, Goddard DR. Physiology of man in the desert. New York: Interscience 1947;16-33:226-241, 326-342.
77. Ladell WS. The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. *J Physiol* 1955;127:11-46.
78. Barr SI, Costill DL, Fink WJ. Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:811-7.
79. McConell GK, Burge CM, Skinner SL, Hargreaves M. Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise. *Acta Physiol Scand* 1997;160:149-56.
80. Fallowfield JL, Williams C, Booth J, Choo BH, Growns S. Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running. *J Sports Sci* 1996;14:497-502.
81. Costill DL, Kammer WF, Fisher A. Fluid ingestion during distance running. *Arch Environ Health* 1970;21:520-5.
82. Gisolfi CV, Copping JR. Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med Sci Sports* 1974;6:108-13.
83. Montain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 1992;73:1340-50.
84. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol* 1995;79:1487-96.
85. Rowell. Physical Stress, Chapter 13: Human Circulation: Regulation during Physical Stress. Oxford University Press, New York. 1986:363-406.
86. Johnson DR, Douglas D, Hauswald M, Tandberg D. Dehydration and orthostatic vital signs in women with hyperemesis gravidarum. *Acad Emerg Med* 1995;2:692-7.
87. Nadel ER, Bullard RW, Stolwijk JA. Importance of skin temperature in the regulation of sweating. *J Appl Physiol* 1971;31:80-7.
88. Rowell. Human Cardiovascular Control. New York : Oxford University Press 1993.
89. Gonzalez-Alonso J, Calbet JA, Nielsen B. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol* 1999;520 Pt 2:577-89.

90. Nielsen B, Hales JR, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol* 1993;460:467-85.
91. Nielsen B, Hyldig T, Bidstrup F, Gonzalez-Alonso J, Christoffersen GR. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Arch* 2001;442:41-8.
92. Cheuvront SN, Haymes EM. Thermoregulation and marathon running: biological and environmental influences. *Sports Med* 2001;31:743-62.
93. Cheuvront SN, Sawka MN. Physical exercise and exhaustion from heat strain. *J Korean Soc Living Environ Syst* 2001;8:134-145.
94. Hargreaves M, Dillo P, Angus D, Febbraio M. Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1996;80:363-6.
95. Febbraio MA. Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat? *Exerc Sport Sci Rev* 2000;28:171-6.
96. Nybo L, Jensen T, Nielsen B, Gonzalez-Alonso J. Effects of marked hyperthermia with and without dehydration on VO(2) kinetics during intense exercise. *J Appl Physiol* 2001;90:1057-64.
97. Gopinathan PM, Pichan G, Sharma VM. Role of dehydration in heat stress-induced variations in mental performance. *Arch Environ Health* 1988;43:15-7.
98. Shirreffs SM, Merson SJ, Fraser SM, Archer DT. The effects of fluid restriction on hydration status and subjective feelings in man. *Br J Nutr* 2004;91:951-8.
99. Hancock PA, Vasmatazidis I. Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. *Int J Hyperthermia* 2003;19:355-72.
100. Murray B. Hydration and physical performance. *J Am Coll Nutr* 2007;26:542S-548S.
101. Kavouras SA, Armstrong LE, Maresh CM, et al. Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *J Appl Physiol* 2006;100:442-50.
102. Luetkemeier MJ, Thomas EL. Hypervolemia and cycling time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:503-9.
103. Craig EN, Cummings EG. Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol* 1966;21:670-4.
104. Armstrong L. Assessing hydration status: the elusive gold standard. *J Am Coll Nutr* 2007;26:575S-584S.
105. Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:456-61.
106. Burke LM, Collier GR, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *J Appl Physiol* 1993;75:1019-23.
107. Ebert TR, Martin DT, Bullock N, et al. Influence of hydration status on thermoregulation and cycling hill climbing. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:323-9.
108. Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:709-31.
109. Walsh RM, Noakes TD, Hawley JA, Dennis SC. Impaired high-intensity cycling performance time at low levels of dehydration. *Int J Sports Med* 1994;15:392-8.
110. Armstrong LE, Maresh CM, Gabaree CV, et al. Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol* 1997;82:2028-35.
111. Ganio MS, Armstrong LE, Casa DJ, et al. Mild dehydration impairs cognitive performance and mood of men. *Br J Nutr* 2011;106:1535-43.
112. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:377-90.
113. Trinity JD, Pahnke MD, Lee JF, Coyle EF. Interaction of hyperthermia and heart rate on stroke volume during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 2010;109:745-51.
114. Wingo JE, Ganio MS, Cureton KJ. Cardiovascular drift during heat stress: implications for exercise prescription. *Exerc Sport Sci Rev* 2012;40:88-94.

115. Logan-Sprenger HM, Heigenhauser GJ, Killian KJ, Spriet LL. Effects of Dehydration during Cycling on Skeletal Muscle Metabolism in Females. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:1949-57.
116. Armstrong LE, Ganio MS, Casa DJ, et al. Mild dehydration affects mood in healthy young women. *J Nutr*;142:382-8.
117. Kelly PJ, Guelfi KJ, Wallman KE, Fairchild TJ. Mild dehydration does not reduce postexercise appetite or energy intake. *Med Sci Sports Exerc*;44:516-24.
118. Greenleaf JE, Sargent F. 2nd. Voluntary dehydration in man. *J Appl Physiol* 1965;20:719-724.
119. Shirreffs SM, Aragon-Vargas LF, Chamorro M, Maughan RJ, Serratosa L, Zachwieja JJ. The sweating response of elite professional soccer players to training in the heat. *Int J Sports Med* 2005;26:90-5.
120. Shirreffs SM, Sawka MN. Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *J Sports Sci* 2011;29 Suppl 1:S39-46.
121. Kurdak SS, Shirreffs SM, Maughan RJ, et al. Hydration and sweating responses to hot-weather football competition. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20 Suppl 3:133-9.
122. Osterberg KL, Horswill CA, Baker LB. Pregame urine specific gravity and fluid intake by National Basketball Association players during competition. *J Athl Train* 2009;44:53-7.
123. Palmer MS, Spriet LL. Sweat rate, salt loss, and fluid intake during an intense on-ice practice in elite Canadian male junior hockey players. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008;33:263-71.
124. CJ G. *Physiology for Elite Athletes*.