



**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**  
ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ 70, 176 71 ΑΘΗΝΑ – ΤΗΛ. : 210 9549100, FAX: 210 9577050  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗ**



**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΚΑΦΕΪΝΗΣ ΣΤΗΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΥΓΡΩΝ  
ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥΔΑΚΗ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

***Επιβλέπων:***

*Κάβουρας Σταύρος, Επίκουρος Καθηγητής*

***Μέλη:***

*Συντώσης Λάμπρος, Καθηγητής*

*Τέντα Ρωζάνη, Λέκτορας*

**ΚΑΛΛΙΘΕΑ - ΑΘΗΝΑ**

**ΙΟΥΝΙΟΣ 2010**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, αγαπητό κο Σταύρο Κάβουρα για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετέχω στην εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης καθώς και για την καθοδήγησή του στα στάδια αυτής, όπως επίσης και τον διδακτορικό φοιτητή και συνεργάτη στο συγκεκριμένο project, Κώστα Μπάρδη για την κατανόηση και άψογη συνεργασία του στο πειραματικό μέρος της μελέτης και τη βοήθειά του στην ανάλυση των δεδομένων. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την εμπιστοσύνη και συνεχή στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....                                                        | 5  |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....                                                        | 7  |
| ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΥΓΡΩΝ.....                                                 | 7  |
| Ρύθμιση Σωματικού Νερού.....                                         | 7  |
| Πόσο νερό χρειαζόμαστε την ημέρα:.....                               | 9  |
| Πού αποθηκεύεται το νερό στο σώμα:.....                              | 10 |
| Πώς ρυθμίζεται το νερό του σώματος:.....                             | 11 |
| Ποιες είναι οι σημαντικότερες λειτουργίες του νερού στο σώμα:.....   | 12 |
| Θερμοκρασία πυρήνα και υδάτωση.....                                  | 13 |
| Διουρητικά Φάρμακα.....                                              | 14 |
| Η σημασία της καλής ενυδάτωσης στην αθλητική απόδοση.....            | 14 |
| Αθλητική απόδοση σε αθλήματα αντοχής.....                            | 15 |
| Αθλητική απόδοση σε αθλήματα μυϊκής δύναμης και ισχύος.....          | 19 |
| Αθλητική απόδοση σε αθλήματα δεξιότητας.....                         | 20 |
| ΚΑΦΕΪΝΗ.....                                                         | 21 |
| Γενικά.....                                                          | 21 |
| Φαρμακοκινητική καφεΐνης.....                                        | 22 |
| Α. Απορρόφηση.....                                                   | 22 |
| Β. Κατανομή.....                                                     | 22 |
| Γ. Μεταβολισμός.....                                                 | 23 |
| Δ. Αποβολή.....                                                      | 23 |
| Κυτταρικοί και μοριακοί μηχανισμοί δράσης της καφεΐνης in vitro..... | 25 |
| Φυσιολογικές και μεταβολικές δράσεις καφεΐνης in vivo.....           | 25 |
| Καφεΐνη και αθλητική απόδοση.....                                    | 25 |
| ΚΑΦΕΪΝΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΣΗ.....                                             | 27 |
| ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....                                               | 33 |
| ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....                                                     | 33 |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....                                                    | 37 |
| .....                                                                | 38 |
| .....                                                                | 39 |
| .....                                                                | 40 |
| ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....                                                        | 40 |

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έχει φανεί στο παρελθόν, ότι πρόσληψη μεγάλων δόσεων καφεΐνης ( $> 300$  mg καφεΐνης) εμφανίζει οξεία διουρητική δράση σε κατάσταση ηρεμίας και μπορεί να προκαλέσει ή να εντείνει τυχόν αφυδάτωση. Ωστόσο δεν είναι ακόμα ξεκάθαρο τι συμβαίνει στη περίπτωση πρόσληψης μικρότερων δόσεων καφεΐνης ( $< 300$  mg καφεΐνης) και κατά πόσο η κατανάλωση καφεΐνης σε μικρές δόσεις εμφανίζει ή όχι διουρητική δράση σε κατάσταση ηρεμίας. **Σκοπός:** Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η εξέταση της οξείας επίδρασης πρόσληψης καφεΐνης  $3$  mg/kg σωματικού βάρους, με τη μορφή καφέ, στην ισορροπία υγρών σε κατάσταση ηρεμίας, σε άτομα με συστηματική κατανάλωση καφέ. **Μέθοδοι:** 19 υγιείς, ενήλικες άνδρες εθελοντές (Ηλικία:  $26 \pm 6$  ετών, Σωματικό Βάρος:  $79,3 \pm 10,7$  kg, Ύψος:  $179 \pm 6$  cm, ΔΜΣ:  $25 \pm 3$ ) κατανάλωσαν 200 mL νερού (W) ή καφέ (CAF) σε δύο ξεχωριστές συνεδρίες και παρέμειναν στο εργαστήριο όπου συλλέχθηκαν δείγματα ούρων κάθε 60 λεπτά για χρονικό διάστημα 3 ωρών. Σε μικρότερο δείγμα αυτών των εθελοντών (15 άντρες), εξετάσαμε σε τρίτη συνεδρία και την πρόσληψη 200 mL ντεκαφεϊνέ καφέ (D-CAF). Η μέση πρόσληψη καφεΐνης ήταν 238 mg. Οι εθελοντές συνήθιζαν να καταναλώνουν συστηματικά καφέ (2-3 φλιτζάνια καφέ/ ημέρα), ενώ για τις ανάγκες της έρευνας τους ζητήθηκε να απέχουν από τρόφιμα και ποτά που περιέχουν καφεΐνη ή άλλες μεθυλοξανθίνες για 24 ώρες πριν από κάθε συνεδρία. Όλες οι συνεδρίες πραγματοποιήθηκαν στις 9:00 το πρωί κατά διπλά-τυφλό και διασταυρούμενο τρόπο (CAF και D-CAF) με διάστημα τουλάχιστον 5 ημερών να μεσολαβεί μεταξύ κάθε 2 διαδοχικών συνεδριών. Για την αξιολόγηση της κατάστασης υδάτωσης μετρήθηκαν το ειδικό βάρος των ούρων (USG), το χρώμα των ούρων και ο όγκος των ούρων σε 4 χρονικές στιγμές (0 λεπτά, 60 λεπτά, 120 λεπτά, 180 λεπτά). **Αποτελέσματα:** Οι παρατηρηθείσες μεταβλητές δεν έδειξαν καμία σημαντική διαφορά λόγω της δράσης της καφεΐνης στους 3 χρόνους (60 λεπτά, 120 λεπτά, 180 λεπτά). Ο συνολικός όγκος των ούρων καθ' όλη τη διάρκεια των 3 ωρών δεν διέφερε σημαντικά; CAF:  $279 \pm 153$  ml, W:  $246 \pm 167$  ml, D-CAF:  $240 \pm 157$  ml. Το ειδικό βάρος (USG) ήταν αντίστοιχα για τις τρεις συνθήκες (C), (W), (D-CAF) στη διάρκεια των 3 ωρών;  $1,019 \pm 0,007$  g/ ml,  $1,021 \pm 0,007$  g/ ml και  $1,019 \pm 0,007$  g/ ml, ενώ το χρώμα και για τις 3 συνθήκες βρέθηκε  $5 \pm 1$ . **Συμπέρασμα:** Διαπιστώθηκε ότι πρόσληψη καφεΐνης  $3$  mg/kg σωματικού βάρους με τη μορφή καφέ από άτομα με συστηματική κατανάλωση καφέ, δεν εμφάνισε καμία επίδραση στην ισορροπία υγρών σε κατάσταση ηρεμίας.

**Abstract:** It has been shown that caffeine consumption in large doses ( > 300 mg caffeine) can stimulate diuresis at rest inducing dehydration. However, it is not clear whether smaller doses of caffeine ( < 300 mg caffeine) have a diuretic effect at rest. The **purpose** of the present study was to investigate the acute effect of caffeine consumption 3 mg/ kg of body weight, in the form of coffee, on fluid balance at rest, in habitual coffee drinkers. Nineteen healthy male adults (Age:  $26 \pm 6$  y, Weight:  $79,3 \pm 10,7$  kg, Height:  $179 \pm 6$  cm, BMI:  $25 \pm 3$ ) consumed 200 ml of water (W) or caffeinated coffee (CAF) in two separate sessions and remained in the laboratory while urine samples were collected every 60 mins for three hours. In a smaller sample of the volunteers (15 males), we also examined the effect of 200 ml decaffeinated coffee consumption (D-CAF) in a third session. Mean caffeine consumption was 238 mg. The subjects were habitual coffee drinkers (2-3 cups per day) and were asked to abstain from any beverages containing caffeine or other methylxanthines, 24 hours before each session day. All sessions took place at 09:00 in the morning in a counterbalance, crossover manner, at least 5 days apart. **Results:** The examined variables revealed no significant main effect of caffeine at all the three time points (60 mins, 120 mins, 180 mins). Cumulative urine volume during the 3-h period did not differ significantly; CAF:  $279 \pm 153$  ml, W:  $246 \pm 167$  ml, D-CAF:  $240 \pm 157$  ml. Furthermore, USG was  $1,019 \pm 0,007$  g/ ml,  $1,021 \pm 0,007$  g/ ml and  $1,019 \pm 0,007$  g/ ml in the (C), (W) and (D-CAF) conditions, respectively during the 3h period, whereas the urine colour was the same  $5 \pm 1$  in all three conditions. **Conclusion:** As indicated by the results, the caffeine consumption of 3 mg/ kg of body weight, ingested in the form of coffee, in habitual coffee drinkers did not affect fluid balance at rest.

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΥΓΡΩΝ

### Ρύθμιση Σωματικού Νερού

Τα επίπεδα του περιεχόμενου νερού στο σώμα παραμένουν σχετικά αμετάβλητα στο πέρασμα του χρόνου, υπό φυσιολογικές συνθήκες. Για να διατηρηθεί η ισορροπία των υγρών του οργανισμού ενός μέσου ενήλικα που ζει σε θερμοουδέτερο περιβάλλον, απαιτούνται καθημερινά περίπου 2,5 L νερού (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition). Οι ανάγκες αυτές καλύπτονται κυρίως μέσω των υγρών που πίνει. Ωστόσο, σημαντική ποσότητα νερού προσλαμβάνει και από τις στερεές τροφές.

Οι πηγές αύξησης του σωματικού ύδατος είναι δύο: (1) η μεταβολική, όπου παράγεται νερό με την οξείδωση οργανικών θρεπτικών ουσιών και (2) η διατροφική, όπου προστίθεται στο σώμα άμεσα νερό με την κατανάλωση υγρής ή στερεάς τροφής (Φυσιολογία του Ανθρώπου II: Μηχανισμοί της Λειτουργίας του Οργανισμού, 8<sup>η</sup> Έκδοση). Το σωματικό νερό από την άλλη μπορεί να απωλεσθεί προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω τεσσάρων διαφορετικών οδών: της επιδερμίδας, των αναπνευστικών αεραγωγών, του γαστρεντερικού σωλήνα και του ουροποιητικού σωλήνα (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition). Η έμμηνος ρύση αποτελεί μια πέμπτη οδό απώλειας ύδατος στις γυναίκες. Η απώλεια ύδατος μέσω της εξάτμισής του από την επιδερμίδα και τους υμένες των αναπνευστικών αεραγωγών ονομάζεται άδηλος ή ανεπαίσθητη απώλεια νερού γιατί ένα άτομο δεν αντιλαμβάνεται αυτή τη συνεχή διεργασία (Φυσιολογία του Ανθρώπου II, 8<sup>η</sup> Έκδοση). Μπορεί να υπάρξει επιπρόσθετη εξάτμιση ύδατος από την επιδερμίδα με την παραγωγή ιδρώτα. Η απώλεια ύδατος από το γαστρεντερικό σωλήνα στα κόπρανα είναι γενικά πολύ μικρή σε φυσιολογικές συνθήκες (Φυσιολογία του Ανθρώπου II, 8<sup>η</sup> Έκδοση).

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, η απώλεια ύδατος στο σώμα ισούται με ένα αντίστοιχο κέρδος και έτσι δεν παρουσιάζεται καμία τελική αλλαγή στη συνολική ποσότητά του στο σώμα.

**Πίνακας 1:** Μέσο ημερήσιο ισοζύγιο σωματικού ύδατος σε έναν ενήλικα

| <b>Μέσο ημερήσιο ισοζύγιο σωματικού ύδατος σε έναν ενήλικα</b> |                |
|----------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Πρόσληψη</b>                                                |                |
| Σε υγρά τροφή                                                  | 1200 ml        |
| Σε στερεά τροφή                                                | 1000 ml        |
| Μεταβολικά παραγόμενο                                          | 350 ml         |
| <b>Σύνολο</b>                                                  | <b>2550 ml</b> |
| <b>Απέκκριση</b>                                               |                |
| Ανεπαίσθητη απώλεια (δέρμα και πνεύμονες)                      | 900 ml         |
| Ιδρώτας                                                        | 50 ml          |
| Κόπρανα                                                        | 100 ml         |
| Ούρα                                                           | 1500 ml        |
| <b>Σύνολο</b>                                                  | <b>2550 ml</b> |

(Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition)

Οι τιμές αυτές είναι μέσοι όροι που υπόκεινται όμως σε σημαντική φυσιολογική διακύμανση. Το ισοζύγιο μεταξύ του εισερχόμενου και του εξερχόμενου σωματικού ύδατος διασφαλίζεται με τη ρύθμιση της απώλειας αυτού στα ούρα η οποία κυμαίνεται ευρέως. Για παράδειγμα, η νεφρική απέκκριση ύδατος μπορεί να ποικίλλει από περίπου 0.4 L έως και 25 L ημερησίως εξαρτώμενη από το αν κάποιος βρίσκεται στην έρημο ή συμμετέχει σε ένα διαγωνισμό κατανάλωσης μπύρας (Φυσιολογία του Ανθρώπου II, 8<sup>η</sup> Έκδοση). Τα φυσιολογικά επίπεδα νερού στα επιμέρους διαμερίσματα των υγρών του σώματος διατηρούνται μέσω ενός μηχανισμού αντίδρασης που περιλαμβάνει ειδικούς ωσμοϋποδοχείς, την αντιδιουρητική ορμόνη και τους νεφρούς (Φυσιολογία του Ανθρώπου II, 8<sup>η</sup> Έκδοση).

Το μεγαλύτερο ποσοστό του σωματικού μας βάρους οφείλεται στην ύπαρξη του νερού, το οποίο και αποτελεί τον διαλύτη μέσα στον οποίο οι υπόλοιπες θρεπτικές ουσίες θα λειτουργήσουν (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition). Το νερό συμμετέχει σε αρκετές λειτουργίες του οργανισμού, μία όμως από τις σημαντικότερες, ιδιαίτερα για όσους αθλούνται, είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας του σώματος. Σε μία μελέτη για τα υγρά και στερεά της αθλητικής διατροφής, ο Macdonald παρατήρησε πως τα υγρά αποτελούν το κύριο συστατικό του οποίου τις μεταβολές πρέπει να παρακολουθούμε σε τακτική βάση (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

Ο ανθρώπινος οργανισμός παράγει θερμότητα και η θερμοκρασία του σώματός μας, η οποία ρυθμίζεται από τον υποθάλαμο του εγκεφάλου, εξαρτάται από τη θερμότητα που παράγουμε και από τη θερμότητα που προσλαμβάνουμε από το περιβάλλον ή αποβάλλουμε σε αυτό (Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications. 4<sup>th</sup> Edition). Υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, υψηλή σχετική υγρασία και θερμότητα υπό μορφή ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να προκαλέσουν σοβαρό θερμικό στρες σε όσους ασκούνται υπό τέτοιες συνθήκες (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition). Με την άσκηση παράγονται σημαντικά ποσά θερμότητας, ωστόσο η θερμοκρασία του σώματος συνήθως ρυθμίζεται αποτελεσματικά μέσω ενεργοποίησης μηχανισμών απώλειας θερμότητας, με κυριότερο την εφίδρωση. Πάντως τόσο η υπερθερμία όσο και η αφυδάτωση μπορούν να ελαττώσουν την αντοχή (Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications. 4<sup>th</sup> Edition).

Η κατάλληλη αναπλήρωση υγρών είναι αναγκαία τόσο για την υγεία όσο και για την άθληση (Shirreffs 2005). Η αντοχή και η απόδοση στην άσκηση μειώνονται σημαντικά (Essentials of Sports Nutrition and Supplements, 2008) σε περιπτώσεις μεγάλης απώλειας υγρών λόγω της εφίδρωσης (Shirreffs 2005), και η έρευνα για τη δημιουργία ειδικών διαλυμάτων ενυδάτωσης, που θα βοηθούσαν στην καθυστέρηση της εμφάνισης κόπωσης λόγω απώλειας υγρών, αυξήθηκε εντυπωσιακά, με αποτέλεσμα τα ειδικά πόσιμα διαλύματα για αθλητές που υπάρχουν σήμερα.

### **Πόσο νερό χρειαζόμαστε την ημέρα;**

Οι ανάγκες σε νερό εξαρτώνται από το σωματικό βάρος του ατόμου. Οι ανάγκες ποικίλλουν στα διάφορα στάδια του κύκλου ζωής. Υπό φυσιολογικές συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και σε φυσιολογικά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας, ο μέσος ενήλικας χρειάζεται περίπου 1 ml νερού για κάθε προσλαμβανόμενη θερμίδα ενέργειας. Για το μέσο ενήλικα άντρα και γυναίκα, οι ημερήσιες ανάγκες είναι 2800 και 2000 ml αντίστοιχα. Με αυτές τις ποσότητες μπορεί να διατηρηθεί μια ικανοποιητική υδατική ισορροπία στο σώμα (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

Η υδατική ισορροπία διατηρείται εφόσον το αποβαλλόμενο νερό ισούται με το προσλαμβανόμενο (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition). Μικρή ποσότητα νερού αποβάλλεται με τα κόπρανα και μέσω του εκπνεόμενου αέρα. Η άδηλος αναπνοή του δέρματος, μη ορατή διαδικασία, είναι σχεδόν καθαρό νερό και αντιστοιχεί περίπου στο 30% του αποβαλλόμενου καθημερινά νερού. Οι απώλειες νερού μέσω της άδηλης αναπνοής ή της εφίδρωσης μπορεί να αυξηθούν σημαντικά στην άσκηση ή σε θερμό περιβάλλον. Τα ούρα είναι βασική οδός απώλειας νερού. Η ποσότητα τους μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση διουρητικών,

στα οποία περιλαμβάνονται το αλκοόλ και η καφεΐνη, ή με τη χρήση δίαιτας με μεγάλες ποσότητες πρωτεϊνών, που παράγουν ουρία, η οποία πρέπει να αποβληθεί από τους νεφρούς (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

Τα πόσιμα υγρά όπως το νερό, η σόδα, το γάλα, ο καφές και το τσάι αποτελούν το βασικό μέσο αναπλήρωσης των απωλειών του νερού (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition). Ωστόσο και οι στερεές τροφές υπολογίζονται ως πηγή νερού, και μάλιστα μέσω δύο διαφορετικών τρόπων. Πρώτον, οι τροφές περιέχουν νερό σε διάφορες ποσότητες και δεύτερον ο μεταβολισμός των τροφών για παραγωγή ενέργειας παράγει επίσης νερό (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition).

### **Πού αποθηκεύεται το νερό στο σώμα;**

Το νερό αποθηκεύεται στα διάφορα διαμερίσματα του οργανισμού μας αλλά και μετακινείται συνεχώς μεταξύ αυτών. Περίπου το 65% του νερού του σώματος είναι αποθηκευμένο στο εσωτερικό των κυττάρων, σαν ενδοκυττάριο νερό. Το υπόλοιπο 35% βρίσκεται έξω από τα κύτταρα και καλείται εξωκυττάριο νερό (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition). Αυτό υποδιαιρείται στο διακυττάριο ή μεσοκυττάριο νερό, που βρίσκεται μεταξύ των κυττάρων ή τα περιβάλλει, στο ενδοαγγειακό νερό μέσα στα αιμοφόρα αγγεία και στο νερό σε λοιπά διαμερίσματα του σώματος, όπως και του εγκεφαλονωτιαίου υγρού (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition).

Το νερό υπάρχει μέσα στο σώμα σε συνδυασμό με πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και ηλεκτρολύτες. Οι πρωτεΐνες στους μύες, στο αίμα και στους λοιπούς ιστούς βοηθούν στη δέσμευση του νερού στους ιστούς αυτούς. Το γλυκογόνο των μυών περιέχει σημαντικές ποσότητες νερού, περίπου 3 g νερού για κάθε γραμμάριο γλυκογόνου, που μπορεί να αποδειχθούν πολύ χρήσιμες. Γενικά ο μεταβολισμός 350 g υδατανθράκων κατά την άσκηση αποδίδει περίπου 1 L νερού για ζωτικές λειτουργίες, όπως πρόσφατα δείχθηκε από τον Rogers και άλλους. Το νάτριο στο εξωκυττάριο υγρό, συμπεριλαμβανομένου και το νατρίου στο κυκλοφορικό σύστημα, ελκύει το νερό (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

Η ισορροπία νερού και ηλεκτρολυτών μεταξύ των διαμερισμάτων του οργανισμού είναι εξαιρετικής σημασίας για τους αθλητές. Μεταβολές των υγρών, όπως για παράδειγμα ελάττωση του όγκου του αίματος και κυτταρική αφυδάτωση, που είναι πιθανόν να συμβούν κατά την άσκηση σε θερμό περιβάλλον, μπορούν να οδηγήσουν στην εμφάνιση κόπωσης ή θερμικής βλάβης (Sawka and Coyle 1999; Cheuvront, Carter et al. 2003; Coyle 2004).

Το νερό αντιστοιχεί στο 60% του σωματικού βάρους του μέσου ενήλικα άντρα και στο 50% της μέσης ενήλικης γυναίκας, αλλά αυτή η αναλογία μπορεί να μειωθεί στο 40% σε

παχύσαρκα άτομα ή να αυξηθεί στο 70% ή περισσότερο σε μύωδη άτομα. Αυτό συμβαίνει διότι ο λιπώδης ιστός έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, ενώ ο μυϊκός ιστός υψηλή (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

### **Πώς ρυθμίζεται το νερό του σώματος;**

Το νερό του σώματος διατηρείται σε φυσιολογικά επίπεδα μέσω της λειτουργίας των νεφρών. Φυσιολογικά επίπεδα νερού στον οργανισμό συνιστούν τη νορμοϋδάτωση. Απώλεια νερού οδηγεί στην υποϋδάτωση, ενώ η κατακράτηση νερού στους ιστούς πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα καλείται υπερυδάτωση. Οι φυσιολογικοί νεφροί δρουν πολύ αποτελεσματικά, τόσο αποβάλλοντας την περίσσεια υγρού σε περίπτωση υπερυδάτωσης, όσο και κατακρατώντας νερό σε περίπτωση υποϋδάτωσης (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

Το νερό είναι τόσο σημαντικό για τη ζωή, που αποτελεί ευτύχημα η ύπαρξη στον οργανισμό ενός μηχανισμού τόσο αποτελεσματικού στη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας. Αυτή ακριβώς η διατήρηση ενός φυσιολογικού εσωτερικού περιβάλλοντος, έτσι ώστε το σώμα να κατανείμει και να χρησιμοποιήσει ιδανικά το νερό, τους ηλεκτρολύτες, τις ορμόνες και άλλες ουσίες απαραίτητες για τη ζωή, καλείται ομοιόσταση. Όλοι οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί λειτουργούν μέσω μιας ακολουθίας διαδικασιών ανάδρασης (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition).

Η βασική διαδικασία ανάδρασης για τον έλεγχο του σωματικού νερού πραγματοποιείται μέσω της ωσμωτικότητας των διαφόρων σωματικών υγρών. Ωσμωτικότητα είναι η ποσότητα ή η συγκέντρωση των διαλυμένων ουσιών μέσα σε ένα διάλυμα. Στο σώμα μας υπάρχει ένας αριθμός διαφορετικών ουσιών που είναι ωσμωτικά δραστικές: η γλυκόζη, οι πρωτεΐνες και διάφοροι ηλεκτρολύτες. Όταν δύο διαλύματα έχουν την ίδια ωσμωτική πίεση ονομάζονται ισοτονικά. Όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμένης ουσίας συγκρίνονται, αυτό με τη μεγαλύτερη ωσμωτική πίεση ονομάζεται υπερτονικό και το άλλο υποτονικό (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition).

Όταν δύο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις διαλυμένης ουσίας χωριστούν από μια διαπερατή μεμβράνη, όπως συμβαίνει στο ανθρώπινο σώμα μεταξύ των διαμερισμάτων των υγρών του, αναπτύσσεται μια διαφορά πίεσης μεταξύ των διαλυμάτων που οδηγεί σε μετακίνηση νερού. Η πίεση αυτή καλείται ωσμωτική πίεση. Το νερό κινείται διαμέσου της μεμβράνης από το υπότονο διάλυμα (χαμηλή συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας και μεγάλη ποσότητα νερού) προς το υπέρτονο διάλυμα (υψηλή συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας και μικρή ποσότητα νερού).

Γενικά οι υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων ουσιών δημιουργούν υψηλές ωσμωτικές πιέσεις και τείνουν να ελκύουν νερό μέσα στα διαμερίσματά τους.

Όταν αφυδατωνόμαστε εξαιτίας αυξημένης απώλειας ή ελαττωμένης πρόσληψης νερού, το αίμα συμπυκνώνεται και γίνεται υπέρτονο. Επειδή όμως η διατήρηση φυσιολογικού όγκου αίματος είναι μείζονος σημασίας, το αίμα τείνει να απορροφήσει νερό από τα κύτταρα του σώματος (Sports and Exercise Nutrition, 3<sup>rd</sup> Edition). Εξειδικευμένα κύτταρα του υποθαλάμου, που λέγονται ωσμωυποδοχείς, είναι ευαίσθητα σε αλλαγές της ωσμωτικής πίεσης. Αυτά αντιδρούν σε περιπτώσεις συμπύκνωσης των υγρών του σώματος, ενεργοποιώντας την απελευθέρωση μιας ορμόνης από την υπόφυση, τον σημαντικότερο ίσως αδένά του σώματος. Η ορμόνη αυτή είναι η αντιδιουρητική ορμόνη (Antidiuretic Hormone, ADH). Η ADH μεταφέρεται με το αίμα στους νεφρούς και τους διεγείρει, ώστε να επαναρροφήσουν περισσότερο νερό. Αντίστοιχα μειώνεται σημαντικά η απέκκριση νερού από τα ούρα. Σε περίπτωση υπερυδάτωσης, που θα προκαλέσει υποτονικότητα στα σωματικά υγρά, μια αντίστροφη διαδικασία θα ενεργοποιηθεί και θα οδηγήσει τελικά σε αυξημένη απέκκριση νερού. Άλλες ορμόνες που επηρεάζουν την ισορροπία του νατρίου στον οργανισμό βοηθούν επίσης στη ρύθμιση του ισοζυγίου του νερού (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

Οι ωσμωυποδοχείς και άλλοι μηχανισμοί ενεργοποιούν επίσης το αίσθημα της δίψας, που συνήθως είναι ένα καλό μέτρο των αναγκών σε νερό και αποκαθιστά αποτελεσματικά το νερό του σώματος σε φυσιολογικά επίπεδα μέσα με τη μέρα. Πάντως η δίψα μπορεί να μην είναι ακριβής δείκτης των αναγκών σε νερό κατά τη διάρκεια άσκησης και μάλιστα σε θερμό περιβάλλον (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition).

### **Ποιες είναι οι σημαντικότερες λειτουργίες του νερού στο σώμα;**

Το νερό είναι πολύ σημαντικό για τη σωστή λειτουργία των υπολοίπων θρεπτικών συστατικών στο ανθρώπινο σώμα. Είναι ο διαλύτης της ζωής. Οι σημαντικότερες λειτουργίες του ακολουθούν παρακάτω (Nutrition for Health, Fitness and Sport. 5<sup>th</sup> Edition):

1. Το νερό αποτελεί το βασικό δομικό συστατικό του κυτταροπλάσματος, που είναι το θεμελιώδες κυτταρικό στοιχείο όλων των ζωντανών οργανισμών.
2. Επειδή το νερό είναι ασυμπίεστο, προστατεύει ιστούς ζωτικής σημασίας, όπως ο νωτιαίος μυελός και ο εγκέφαλος.
3. Το νερό είναι ουσιαστικής σημασίας για τον έλεγχο της ωσμωτικής πίεσης του σώματος και τη διατήρηση της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ νερού και ηλεκτρολυτών.

4. Το νερό αποτελεί βασικό δομικό συστατικό του αίματος, που με τη σειρά του είναι ο σημαντικότερος μεταφορέας οξυγόνου, θρεπτικών συστατικών, ορμονών και άλλων ουσιών στα κύτταρα για τις λειτουργίες τους, καθώς και άχρηστων προϊόντων του μεταβολισμού από τα κύτταρα προς όργανα όπως οι πνεύμονες και οι νεφροί, για να απεκκριθούν από το σώμα.
5. Το νερό είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία των αισθήσεων. Τα ακουστικά κύματα μεταφέρονται μέσω υγρού που βρίσκεται στο έσω αυτί. Το υγρό του οφθαλμικού βολβού συμμετέχει στη διαδικασία αντανάκλασης του φωτός για τη σωστή όραση. Για να λειτουργήσουν οι αισθήσεις της γεύσης και της όσφρησης, οι τροφές και οι ουσίες πρέπει να είναι διαλυμένες σε νερό.
6. Πρωτογενούς σημασίας για το σωματικά δραστήριο άνθρωπο είναι ο ρόλος του νερού στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος. Το νερό αποτελεί το βασικό συστατικό του ιδρώτα, ο οποίος μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του δέρματος, βοηθά στην αποβολή της περίσσειας θερμότητας από το σώμα. Από όλες τις θρεπτικές ουσίες το νερό είναι το πιο σημαντικό για τον ασκούμενο άνθρωπο και μια από τις λίγες που μπορούν να έχουν ευεγερτικά αποτελέσματα στην απόδοση αν χρησιμοποιηθεί σε συμπληρωματικές ποσότητες πριν ή κατά τη διάρκεια της άσκησης. Επομένως, ο αθλητής πρέπει να γνωρίζει τι είναι απαραίτητο για τη διατήρηση κατάλληλης ισορροπίας υγρών στο σώμα.

### **Θερμοκρασία πυρήνα και υδάτωση**

Η κατάλληλη ενυδάτωση είναι σημαντική για την επίτευξη βέλτιστης αθλητικής απόδοσης (Armstrong, Costill et al. 1985) και μπορεί να παίζει ρόλο στην πρόληψη θερμικής διαταραχής (Binkley, Beckett et al. 2002). Η αφυδάτωση αυξάνει την καρδιαγγειακή επιβάρυνση και τη θερμοκρασία πυρήνα ( $T_c$ ) σε επίπεδα υψηλότερα από αυτά της εφυδάτωσης (Gonzalez-Alonso, Mora-Rodriguez et al. 1997). Αυτές οι αυξήσεις, ανεξάρτητα (Gonzalez-Alonso, Teller et al. 1999), και σε συνδυασμό (Gonzalez-Alonso, Mora-Rodriguez et al. 1997; Gonzalez-Alonso 1998) επιδρούν αρνητικά στην απόδοση και θέτουν το άτομο σε κίνδυνο για θερμική διαταραχή (Casa, Armstrong et al. 2000). Άσκηση σε θερμό περιβάλλον όπου η αφυδάτωση συμβαίνει πριν (Gonzalez-Alonso, Mora-Rodriguez et al. 1997) ή κατά τη διάρκεια τη άσκησης (Montain and Coyle 1992), έχει ως αποτέλεσμα θερμοκρασία πυρήνα ( $T_c$ ) άμεσα σχετιζόμενη με το βαθμό αφυδάτωσης. Η σχέση αφυδάτωσης και υπερθερμίας έχει δείξει ότι τόσο ανεξάρτητα όσο και αθροιστικά, συμβάλλουν σε καρδιαγγειακή αστάθεια η οποία θέτει το άτομο σε κίνδυνο για εμφάνιση θερμικής εξάντλησης (Gonzalez-Alonso, Mora-Rodriguez et al. 1997).

Εργαστηριακά βασισμένες μελέτες έχουν δείξει ξεκάθαρα ότι όταν ελέγχονται η ένταση της άσκησης και το επίπεδο υδάτωσης, η θερμοκρασία πυρήνα ( $T_c$ ) αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό όταν τα άτομα είναι αφυδατωμένα (Montain and Coyle 1992).

### **Διουρητικά Φάρμακα**

Τα φάρμακα που αυξάνουν τη ροή των ούρων ονομάζονται διουρητικά. Αυτές οι ουσίες είναι αναστολείς της μεταφοράς ιόντων οι οποίοι μειώνουν την επαναρρόφηση  $Na^+$  σε διάφορες θέσεις του νεφρώνα. Συνέπεια τούτου είναι το  $Na^+$  και τα άλλα ιόντα, όπως το  $Cl^-$ , να εισέρχονται στα ούρα σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις φυσιολογικές μαζί με νερό, το οποίο μεταφέρεται παθητικά για να διατηρηθεί η οσμωτική ισορροπία. Έτσι, τα διουρητικά αυξάνουν τον όγκο των ούρων και συχνά μεταβάλλουν το pH και την ιοντική σύνθεση των ούρων και του αίματος. Οι κύριες κλινικές χρήσεις τους βρίσκονται στην αντιμετώπιση των διαταραχών που έχουν σχέση με ανώμαλη κατακράτηση υγρών (οίδημα) ή στη θεραπεία της υπέρτασης, όπου η διουρητική δράση προκαλεί ελάττωση του όγκου αίματος και οδηγεί σε πτώση της αρτηριακής πίεσης (Φαρμακολογία, 2<sup>η</sup> Έκδοση).

### **Φυσιολογική ρύθμιση των υγρών και των ηλεκτρολυτών από τους νεφρούς**

Περίπου το 16-20% του πλάσματος του αίματος που εισέρχεται στους νεφρούς διηθείται από τα σπειραματικά τριχοειδή μέσα στην κάψα του Bowman. Το διήθημα, αν και φυσιολογικά δεν περιέχει πρωτεΐνες και κύτταρα του αίματος, περιέχει τα χαμηλότερου μοριακού βάρους συστατικά του πλάσματος περίπου στις ίδιες συγκεντρώσεις με το πλάσμα. Στα συστατικά αυτά συμπεριλαμβάνονται η γλυκόζη, διττανθρακικό νάτριο, αμινοξέα και άλλες οργανικές διαλυτές ουσίες μαζί με ηλεκτρολύτες, όπως  $Na^+$ ,  $K^+$  και  $Cl^-$ . Ο νεφρός ρυθμίζει την ιοντική σύνθεση και τον όγκο των ούρων με την επαναρρόφηση ή έκκριση ιόντων ή και ύδατος σε πέντε λειτουργικές ζώνες κατά μήκος του νεφρώνα, δηλαδή το εγγύς εσπειραμένο σωληνάριο, το κατιόν σκέλος της αγκύλης του Henle, το ανιόν σκέλος της αγκύλης του Henle, το άπω εσπειραμένο σωληνάριο και το αθροιστικό σωληνάριο (Φαρμακολογία, 2<sup>η</sup> Έκδοση).

### **Η σημασία της καλής ενυδάτωσης στην αθλητική απόδοση**

Είναι προφανές ότι ορισμένα άτομα μπορούν και ανέχονται απώλειες υγρών που ανέρχονται στο 2% της σωματικής τους μάζας, χωρίς να διατρέχει κάποιο σημαντικό κίνδυνο η φυσική τους κατάσταση ή η απόδοσή τους σε άσκηση αντοχής όταν το περιβάλλον είναι κρύο (π.χ. 5-10° C) ή ήπιο (π.χ. 20-22° C). Ωστόσο, κατά τη διάρκεια άσκησης σε ζεστό περιβάλλον

(από 30° C και πάνω) απώλεια υγρών 2% της σωματικής μάζας βλάπτει την αθλητική απόδοση και αυξάνει την πιθανότητα πρόκλησης θερμικής βλάβης (Shirreffs 2005).

Το επίπεδο υδάτωσης, η πρόσληψη νερού, και οι επιδράσεις της υπουδάτωσης στην αθλητική απόδοση, στην υγεία και στην ευεξία έχουν γίνει θέμα συζητήσεων τόσο επιστημονικών όσο και του κοινού τα τελευταία χρόνια, με πλήθος ερευνών, μεταξύ αυτών και των *Cheuvront et al. 2003*, *Coyle et al. 2004*, [Sawka MN](#) και [Coyle EF 2004](#), να εξετάζουν εκτενώς την επίδραση της ισορροπίας υγρών στην αθλητική απόδοση (Sawka and Coyle 1999; Cheuvront, Carter et al. 2003; Coyle 2004). Η ισορροπία μεταξύ της απώλειας και της πρόσληψης υγρών διατηρεί το σωματικό νερό σε σχετικά στενά όρια (Andersson 1978).

Οι πορείες μέσω των οποίων χάνεται νερό από το σώμα είναι το ουροποιητικό σύστημα, η επιδερμίδα, ο γαστρεντερικός σωλήνας και οι αναπνευστικές επιφάνειες. Οι κύριοι τρόποι για αποκατάσταση της υδατικής ισορροπίας είναι μέσω της πρόσληψης υγρών και τροφής, με το μεταβολικά παραγόμενο νερό να έχει μικρή συμβολή (Greenleaf 1982). Απώλεια σωματικού νερού στον άνθρωπο συνεπάγεται απώλεια υγρών τόσο από το ενδοκυττάριο όσο και από το εξωκυττάριο νερό (Costill, Cote et al. 1976).

Ωστόσο, απώλειες υγρών μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές επιδράσεις στις εναπομείναντες αποθήκες υγρών, κάτι το οποίο εξαρτάται από τον τύπο του υγρού που χάθηκε. Απώλεια υποτονικού υγρού, όπως παραδείγματος χάρη συμβαίνει με τον ιδρώτα, οδηγεί σε αύξηση της ωσμωτικότητας του σωματικού νερού. Απώλεια υπερτονικού υγρού, όπως παραδείγματος χάρη στη περίπτωση παραγωγής συμπυκνωμένων ούρων, προκαλεί μείωση της ωσμωτικότητας του σωματικού νερού. Ενώ απώλεια ισοτονικού υγρού, προκαλεί να μεν καθαρή απώλεια υγρών, αλλά όχι μεταβολή της ωσμωτικότητας στο σωματικό νερό.

### **Αθλητική απόδοση σε αθλήματα αντοχής**

Άσκηση αντοχής ορίζεται ως η αερόβια συνεχόμενη άσκηση διάρκειας άνω των 60 λεπτών. Οι επιδράσεις της αφυδάτωσης στη φυσιολογική λειτουργία του οργανισμού και στην αθλητική απόδοση κατά τη διάρκεια άσκησης αντοχής, έχουν συνήθως μελετηθεί είτε προκαλώντας κάποιου βαθμού απώλειας σωματικού νερού πριν τη συνεδρία της άσκησης είτε επιτρέποντας να αναπτυχθεί αφυδάτωση κατά τη διάρκεια της άσκησης (Shirreffs 2005).

Βέβαια κάθε μία από τις παραπάνω μεθόδους έχει διαφορετική επίδραση στον τύπο σωματικού νερού που αποβάλλεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (υποτονικό, υπερτονικό, ισοτονικό), το οποίο με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει τα πειραματικά ευρήματα. Ωστόσο, έχει διατυπωθεί από τη δημοσιευμένη βιβλιογραφία ότι πολλές από τις φυσιολογικές αποκρίσεις

και τα αποτελέσματα που αφορούν την αθλητική απόδοση δεν επηρεάζονται σημαντικά από τον τρόπο με τον οποίο έχει προκληθεί το έλλειμμα στο σωματικό νερό (Shirreffs 2005).

Ο Cheuvront και οι συνεργάτες του (Cheuvront, Carter et al. 2003), πρόσφατα ανέλαβαν την ανασκόπηση δημοσιευμένων μελετών που εξετάζουν τις επιδράσεις της αφυδάτωσης στην αθλητική απόδοση. Τα διαθέσιμα στοιχεία οδήγησαν τους συγγραφείς να καταλήξουν στο ότι σε καταστάσεις άσκησης σε θερμό περιβάλλον ( $T > 30^{\circ}\text{C}$ ), αφυδάτωση της τάξης 2-7% του σωματικού βάρους μειώνει ακολουθώντας την αθλητική απόδοση αντοχής. Ωστόσο, η έκταση της μείωσης της αθλητικής απόδοσης φάνηκε να κυμαίνεται από 7 έως 60%. Όσο αφορά την άσκηση σε κανονικές συνθήκες ( $20-21^{\circ}\text{C}$ ), διαπιστώθηκε ότι αφυδάτωση 1-2% του σωματικού βάρους δεν είχε καμία επίδραση στην αθλητική απόδοση σε αερόβια άσκηση διάρκειας μικρότερης των 90 λεπτών (Maughan, Fenn et al. 1989; Robinson, Hawley et al. 1995; McConell, Stephens et al. 1999; Bachle, Eckerson et al. 2001), αλλά όταν η διάρκεια ήταν μεγαλύτερη των 90 λεπτών, η αθλητική απόδοση μειώθηκε (Fallowfield, Williams et al. 1996; McConell, Burge et al. 1997). Ομοίως ο Shirreffs κατέληξε, σε αντίστοιχη μελέτη, στο συμπέρασμα ότι η αφυδάτωση λόγω απώλειας υγρών 2% του σωματικού βάρους και άνω, φαίνεται να μειώνει την αθλητική απόδοση σε άσκηση αντοχής τόσο σε κανονικό όσο και σε ζεστό περιβάλλον, ιδίως όταν η διάρκεια της άσκησης είναι από 90 λεπτά και άνω (Shirreffs 2005).

Συνεπώς, αφυδάτωση με απώλεια υγρών 2% και άνω του σωματικού βάρους κατά τη διάρκεια άσκησης σε ζεστό περιβάλλον ( $31-32^{\circ}\text{C}$ ) ξεκάθαρα βλάπτει την αθλητική απόδοση, αλλά όταν η άσκηση πραγματοποιείται σε κανονικό περιβάλλον ( $20-21^{\circ}\text{C}$ ) παρατηρείται ηπιότερη και μη σημαντική επίδραση στην αθλητική απόδοση. Τα ευρήματα αυτά υποδεικνύουν ότι οι αθλητές θα πρέπει να προσπαθήσουν να αντισταθμίσουν όσο το δυνατό περισσότερο τυχόν απώλειες υγρών κατά τη διάρκεια έντονης άσκησης σε ζεστό περιβάλλον και διάρκειας 60 λεπτών και άνω. Ωστόσο, όταν οι συνθήκες είναι κανονικές, οι αθλητές μπορούν να ανεχτούν καλύτερα μια αφυδάτωση της τάξης του 2% χωρίς να διατρέχουν σημαντικό κίνδυνο για μείωση της αθλητικής απόδοσης και θερμική βλάβη. Σε κρύα περιβάλλοντα, αφυδάτωση άνω του 2% είναι επίσης δυνατόν να είναι ανεκτή (Shirreffs 2005). Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Επίδραση αφυδάτωσης στην αθλητική απόδοση

| Study                                  | Conditions                                                                                                                         | Dehydration*                       | Performance Results                                                                          |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adolph, 1947 <sup>23</sup>             | Desert walk (21 miles); 31°C–39°C; NF ( <i>n</i> = 13) or AL ( <i>n</i> = 9)                                                       | NF = 6.3%<br>AL = 4.5%             | NF = 5/13 failed to complete walk (38%)<br>AL = 3/9 failed to complete walk (33%)            |
| Mudambo et al., 1997 <sup>24</sup>     | Walk/run/obstacle course (3 h); 39°C/28% RH; NF ( <i>n</i> = 18) or SF ( <i>n</i> = 6)                                             | NF = 7%<br>SF = 2.8%               | NF = 6/18 subjects failed to complete course vs SF;<br>NF = increase in RPE compared with SF |
| Ladell, 1955 <sup>25</sup>             | Bench step to exhaustion; 38°C/78% RH or 38°C/30% RH; <i>n</i> = 4; NF or F                                                        | No data                            | NF = ~20% decrease in walk duration; increased RPE compared with AL and F                    |
| Pitts et al., 1944 <sup>22</sup>       | Walk 3.5 mph, 2.5% grade (5 h); 35°C/83% RH; <i>n</i> = 6; NF, AL, or F                                                            | No data                            | NF = ~60% decrease in walk duration; increased RPE compared with AL and F                    |
| Walsh et al., 1994 <sup>44</sup>       | Cycle ergometer 70% VO <sub>2max</sub> for 60 min, then 90% VO <sub>2max</sub> to exhaustion; 32°C/60% RH; <i>n</i> = 6; NF or F   | NF = 1.8%<br>F = 0.0%              | NF = 31% decrease in TTE and increased RPE compared with F                                   |
| Below et al., 1995 <sup>26</sup>       | Cycle ergometer 50% VO <sub>2max</sub> for 50 min, then performance ride; 31°C/54% RH; <i>n</i> = 8; SF or F                       | SF = 2.0%<br>F = 0.5%              | SF = 7% decrease in performance compared with F                                              |
| Barr et al., 1991 <sup>27</sup>        | Cycle ergometer 55% VO <sub>2max</sub> (6 h); 30°C/50% RH; <i>n</i> = 8; NF or SF                                                  | NF = 6.4%<br>F = 1.2%              | NF = 25% decrease in TTE compared with SF                                                    |
| Bachle et al., 2001 <sup>10</sup>      | Cycle ergometer 60 min performance ride; 21°C/72% RH; <i>n</i> = 10; NF or F                                                       | NF = 1.0%<br>F = ↑ 0.5%            | No differences in performance ride or RPE among trials                                       |
| McConnell et al., 1999 <sup>11</sup>   | Cycle ergometer 80% VO <sub>2max</sub> for 45 min, then 15-min performance ride; 21°C/41% RH; <i>n</i> = 8; NF, SF, or F           | NF = 1.9%<br>SF = 1.0%<br>F = 0.0% | No differences in performance ride among trials                                              |
| McConnell et al., 1997 <sup>14</sup>   | Cycle ergometer at 69% VO <sub>2max</sub> for 120 min, then 90% VO <sub>2max</sub> to exhaustion; 21°C; <i>n</i> = 7; NF, SF, or F | NF = 3.2%<br>SF = 1.8%<br>F = 0.1% | NF = 48% decrease in performance ride compared with F only                                   |
| Robinson et al., 1995 <sup>12</sup>    | Cycle ergometer performance ride (60 min); 20°C/60% RH; <i>n</i> = 8; NF or F                                                      | NF = 2.3%<br>F = 0.9%              | NF = 1.7% increase in performance ride compared with F                                       |
| Fallowfield et al., 1996 <sup>15</sup> | Treadmill run at 70% VO <sub>2max</sub> to exhaustion; 20°C; <i>n</i> = 8; NF or SF                                                | NF = 2.0%<br>SF = 2.7%             | NF = 25% decrease in TTE vs SF                                                               |
| Maughan et al., 1989 <sup>13</sup>     | Cycle ergometer 70% VO <sub>2max</sub> to exhaustion; <i>n</i> = 6; NF or SF                                                       | NF = 1.8%<br>SF = 2.0%             | No differences in TTE between NF and SF                                                      |

\*Ποσοστό επί της σωματικής μάζας. AL: ad libitum fluid; F: fluid; NF: no fluid; RH: relative humidity; RPE: rate of perceived exertion; SF: some fluid; TTE: time to exhaustion.

(Shirreffs 2005)

## **Μηχανισμοί μείωσης αθλητικής απόδοσης λόγω αφυδάτωσης σε αθλήματα αντοχής.**

Οι πιθανοί μηχανισμοί που ευθύνονται για τη μείωση της αθλητικής απόδοσης λόγω αφυδάτωσης, μπορεί να είναι το αυξημένο καρδιαγγειακό έργο, η αυξημένη θερμική καταπόνηση (υπερθερμία), μεταβολές στη λειτουργία του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος (ΚΝΣ), αλλαγές στη μεταβολική λειτουργία, ή συνδυασμός των παραπάνω.

Σε περίπτωση απώλειας σωματικού νερού, παρατηρείται αύξηση της καρδιακής συχνότητας και μείωση του όγκου παλμού, και συνεπώς αύξηση του καρδιακού έργου. Οπότε αν η άσκηση λαμβάνει χώρα σε θερμό περιβάλλον κατά πάσα πιθανότητα η καρδιακή παροχή δεν θα επαρκεί για συνέχιση της άσκησης. Πλήθος ερευνών έχει δείξει αύξηση της καρδιακής συχνότητας μετά από αρνητικό ισοζύγιο υγρών (ως αποτέλεσμα μη πρόσληψης υγρών) σε περιβάλλοντα με θερμοκρασίες από 22° έως 33° C, τόσο σε προπονημένα όσο και σε απροπύνητα άτομα (Montain and Coyle 1992; Montain and Coyle 1992; Gonzalez-Alonso, Mora-Rodriguez et al. 1995).

Οι Montain και Coyle (Montain and Coyle 1992) κατέδειξαν ότι η έκταση της προκληθείσας αφυδάτωσης (μέσα στο εύρος του 1-4% του σωματικού βάρους) συνδέθηκε άμεσα με βαθμό αύξησης της καρδιακής συχνότητας και της μείωσης του καρδιακού παλμού που παρατηρήθηκαν.

Αμέσως αργότερα, ο Gonzalez-Alonso και οι συνεργάτες του (Gonzalez-Alonso, Mora-Rodriguez et al. 1997) έδειξαν τόσο ανεξάρτητες όσο και συνεργιστικές μειώσεις στην καρδιαγγειακή λειτουργία μετά από αφυδάτωση, θερμικό στρες και συνδυασμό των δύο παραπάνω.

Το αυξημένο καρδιακό έργο λόγω αφυδάτωσης κατά την άσκηση συμπίπτει επίσης με αύξηση της αντιλαμβανόμενης προσπάθειας (Ladell 1955; Barr, Costill et al. 1991; Below, Mora-Rodriguez et al. 1995; Fallowfield, Williams et al. 1996; McConell, Burge et al. 1997; Mudambo, Leese et al. 1997). Συνεπώς, η καρδιαγγειακή επιβάρυνση μπορεί να φέρει αρνητική επίδραση στην αθλητική απόδοση μειώνοντας τα κίνητρα για άσκηση.

Επίσης, έχει προταθεί ότι υπάρχει κάποιο κρίσιμο σημείο θερμοκρασίας πυρήνα που φέρει σαν αποτέλεσμα την εξάντληση λόγω άσκησης και διακοπή της άσκησης (Nielsen, Hales et al. 1993). Η υπόθεση είναι ότι όταν αυτή η θερμοκρασία πυρήνα επιτευχθεί, το ΚΝΣ μειώνει την ενεργητικότητα για άσκηση προκειμένου να μειώσει την παραγωγή θερμότητας (και την τυχόν υπερθερμία που έχει προκληθεί από την άσκηση) και να προστατεύσει τη νευρική λειτουργία. Αυτό το κρίσιμο σημείο θερμοκρασίας πυρήνα όπως έχει διατυπωθεί από ερευνητές,

πρέπει να βρίσκεται μέσα στο εύρος 39,5-40° C (Nielsen, Hales et al. 1993; Gonzalez-Alonso, Teller et al. 1999; Nielsen, Hyldig et al. 2001). Η υπερθερμία μπορεί να δράσει μειώνοντας την ενεργητικότητα για την εκτέλεση άσκησης και το χρόνο ανοχής στην άσκηση, πιθανώς μέσω μιας πορείας που εμπλέκει το ΚΝΣ. Τέλος, είναι δυνατόν η αφυδάτωση να επηρεάσει αρνητικά την άσκηση αντοχής και την αθλητική απόδοση μέσω των δράσεών της στο μυϊκό μεταβολισμό.

Ο Hargreaves και οι συνεργάτες του (Hargreaves, Dillo et al. 1996) περιέγραψαν ότι η χρήση του μυϊκού γλυκογόνου μειώθηκε κατά 16% κατά τη διάρκεια παρατεταμένης άσκησης σε σύγκριση με τη δοκιμή όπου δεν υπήρχε καθόλου κατανάλωση ποτού. Αυτή η αυξημένη χρήση του μυϊκού γλυκογόνου στην περίπτωση της αφυδάτωσης προκαλείται ίσως από υψηλότερες θερμοκρασίες σώματος, υψηλότερα επίπεδα κατεχολαμινών, ή συνδυασμό και των δύο (Febbraio 2000). Ωστόσο, αν το θερμικό στρες είναι αρκετό και η καρδιακή παροχή είναι μειωμένη (λόγω αφυδάτωσης), η αιματική ροή στους σκελετικούς μύες μπορεί να μειωθεί (Gonzalez-Alonso, Calbet et al. 1999), το οποίο με τη σειρά του θα μπορούσε να κάνει τα πράγματα πιο δύσκολα για την υποστήριξη του αερόβιου μεταβολισμού, και συνεπώς η ένταση της άσκησης θα πρέπει να μειωθεί. Εν κατακλείδι, η έρευνα αυτή καταλήγει στο ότι η αφυδάτωση, εξαιτίας των επιδράσεών της στην κυκλοφορία, κάνει την υπερθερμία ακόμα πιο δύσκολη στην αντιμετώπισή της και τον πιο κύριο παράγοντα στην πρόωρη κόπωση. Στις περισσότερες έρευνες που εξετάζουν την επίδραση της κατάστασης υδάτωσης στην αθλητική απόδοση, η μείωση της αθλητικής απόδοσης συσχετίστηκε με υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας πυρήνα, καρδιακής συχνότητας, και υψηλότερο βαθμό αντιλαμβανόμενης προσπάθειας.

### **Αθλητική απόδοση σε αθλήματα μυϊκής δύναμης και ισχύος**

Διάφορες επιδράσεις έχουν αναφερθεί να συμβαίνουν στη νευρομυϊκή λειτουργία και στη βραχυπρόθεσμη δύναμη, λόγω της απώλειας σωματικού νερού (Shirreffs 2005). Οι πλειοψηφία των δημοσιευμένων μελετών υποδεικνύουν ότι αφυδάτωση της τάξης μέχρι 7% του σωματικού βάρους μπορεί να ανεχθεί γενικά χωρίς κάποια μείωση στη μέγιστη ισομετρική δύναμη των ισοτονικών μυϊκών συστολών. Έχει δε παρατηρηθεί ότι σε περιπτώσεις μείωσης της δύναμης λόγω αφυδάτωσης, οι μύες του άνω κορμού του σώματος φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από τους μύες του κάτω (Shirreffs 2005). Επίσης, φαίνεται ότι είναι πιο πιθανό η μείωση στη δύναμη να οφείλεται σε παρατεταμένο περιορισμό τροφής και υγρών (Bosco, Terjung et al. 1968) και συνεπώς υπάρχουν ερωτηματικά σχετικά με το ρόλο που παράγοντες άλλοι εκτός από την αφυδάτωση παίζουν στα συγκεκριμένα ευρήματα. Όταν μελετήθηκε η μέγιστη αεροβική δύναμη σε σχέση με το επίπεδο υδάτωσης, φάνηκε ότι σε αφυδάτωση λιγότερο από 3% του σωματικού βάρους, η μέγιστη αερόβια δύναμη δεν επηρεάζεται, αλλά όταν

η αφυδάτωση αυξήθηκε στο 3-5% παρατηρήθηκαν μειώσεις στη δύναμη. Επίσης, όπως συμβαίνει και με την άσκηση αντοχής, μειώσεις στην μέγιστη αερόβια δύναμη μπορούν να εμφανιστούν και σε χαμηλότερα επίπεδα αφυδάτωσης όταν πρόκειται για άσκηση σε ζεστό περιβάλλον (Craig and Cummings 1966).

### **Αθλητική απόδοση σε αθλήματα δεξιοτεχνίας**

Πολλά αθλήματα όπως το ποδόσφαιρο, το ράγκμπι, το μπάσκετ και το τέννις, είναι διαλειμματικής φύσης και αποτελούνται από παρατεταμένες περιόδους άσκησης σε συνδυασμό με εναλλαγές μεταξύ υψηλής και χαμηλής έντασης άσκησης. Επομένως, καλή αθλητική απόδοση σε αυτά τα αθλήματα απαιτεί αντοχή στην κόπωση, αλλά επίσης και η γνωσιακή λειτουργία στη λήψη αποφάσεων και η σωστή εκτέλεση και εφαρμογή πολύπλοκων δεξιοτήτων είναι σημαντικές (Shirreffs 2005). Ωστόσο από τις λίγες μελέτες που υπάρχουν σε σχέση με την επίδραση της αφυδάτωσης σε αυτές τις δεξιότητες σε αυτού του είδους τα αθλήματα, φαίνεται να υπάρχει μια μικρή επίδραση της αφυδάτωσης μειώνοντας την αθλητική απόδοση (McGregor, Nicholas et al. 1999; Nicholas, Nuttall et al. 2000; Devlin, Fraser et al. 2001). Αφυδάτωση σε υγιή άτομα μπορεί να προκύψει ύστερα από μικρή περίοδο εθελούσιου περιορισμού υγρών, και αν και η αφυδάτωση που προκύπτει είναι σχετικά μικρού βαθμού, είναι αρκετή ώστε τα άτομα να παραπονιούνται και να αναφέρουν για αισθήματα πονοκεφάλου, κούρασης, μειωμένης εγρήγορσης και δυσκολίας για συγκέντρωση. Σίγουρα, όλα αυτά μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την αθλητική απόδοση σε αθλήματα που απαιτούν δεξιότητες σαν και αυτές (Shirreffs, Merson et al. 2004).

# ΚΑΦΕΪΝΗ

## Γενικά

Η καφεΐνη αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο ψυχοτρόπο φάρμακο, με ποσοστό σχεδόν 80% του πληθυσμού να είναι τακτικοί χρήστες του (Gilbert 1984). Η κατανάλωση καφεΐνης χρονολογείται από την Παλαιολιθική Περίοδο (Barone and Roberts 1996), η χημική της απομόνωση το 1819 (από τον Γερμανό χημικό Friedrich Ferdinand Runge) και η συνθετική της παραγωγή το 1895 (από τον Emil Fischer και τον συνεργάτη του Lorenz Ach) (Waldvogel 2003). Οι κύριες πηγές της καφεΐνης είναι ο καφές, το τσάι, τα προϊόντα του κακάο και τύπου cola. Τα αφεψήματα και τα αναψυκτικά που περιέχουν καφεΐνη είναι τα πλέον δημοφιλή και η καφεΐνη είναι η πρώτη σε κατανάλωση ψυχοδιεγερτική ουσία σε όλο τον κόσμο. Η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (η FDA) θεωρεί ότι η καφεΐνη είναι ασφαλής και επιτρέπει την προσθήκη της σε προϊόντα διατροφής και αναψυκτικά, χαρακτηρίζοντάς την ως "ουσία πολλαπλών χρήσεων - γενικώς θεωρούμενη ως διατροφικά ασφαλής" (multiple purpose generally recognized as safe food substance). Επιπλέον, η καφεΐνη βρίσκεται σε φαρμακευτικά σκευάσματα ήπιων αναλγητικών ουσιών επαυξάνοντας σημαντικά τη δραστηριότητά τους. Τα ενεργειακά ποτά αντιπροσωπεύουν μια νέα κατηγορία προϊόντων που περιέχουν καφεΐνη σε ποσότητες που ξεπερνούν αυτές στα αναψυκτικά και πλησιάζουν το κατώτατο όριο αυτών που βρίσκονται στο καφέ (Barone and Roberts 1996; Harland 2000; Brice and Smith 2002; Mandel 2002).

Η κατανάλωση καφεΐνης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η φυσική πηγή της καφεΐνης, η ηλικία του ατόμου, το φύλο, η διατροφική κατάσταση, η φυσική κατάσταση, η συμπεριφορά και ο εθισμός στην καφεΐνη (Harland 2000; Brice and Smith 2002). Ο πιο συνηθισμένος παράγοντας ωστόσο που καθορίζει τη προσλαμβανόμενη ποσότητα καφεΐνης είναι η πηγή της καφεΐνης, καθώς η περιεκτικότητα διαφόρων, φυσικών και μη, πηγών σε καφεΐνη διαφέρει ποικιλοτρόπως (Fredholm, Battig et al. 1999).

Η καφεΐνη είναι γνωστή για την εργογόνο δράση της, διατίθεται στο εμπόριο σε χαμηλή τιμή, μπορεί να καταναλωθεί σε γενικά νόμιμες ποσότητες, έχει ελάχιστη έως καμία αρνητική επίδραση και τέλος αποτελεί ένα κοινωνικά αποδεκτό φάρμακο (Magkos and Kavouras 2005). Για όλους τους παραπάνω λόγους η χρήση της καφεΐνης είναι πολύ διαδεδομένη και στους αθλητές ως βοήθημα στα πλαίσια της βελτίωσης της αθλητικής απόδοσης, και η περίπτωση αποκλεισμού αθλητών λόγω κατάχρησης καφεΐνης είναι εξαιρετικά σπάνια (Nehlig and Debry 1994).

## **Φαρμακοκινητική καφεΐνης**

Συμπεριφορά καφεΐνης στο σώμα.

### **A. Απορρόφηση**

Η προσλαμβανόμενη καφεΐνη απορροφάται γρήγορα και πλήρως από τον γαστρεντερικό σωλήνα. Η απορρόφηση είναι πλήρης μέσα σε σχεδόν 30-60 λεπτά μετά την πρόσληψη (Marks and Kelly 1973; Blanchard and Sawers 1983; Arnaud 1987; Mumford, Benowitz et al. 1996). Ο ρυθμός απορρόφησης της καφεΐνης επηρεάζεται από τις βιοχημικές ιδιότητες του τύπου, του pH, του όγκου και της σύστασης της χορηγούμενης δόσης (Bonati, Latini et al. 1982). Ωστόσο φαίνεται ότι όταν η απόλυτη ποσότητα της χορηγούμενης ποσότητας καφεΐνης και ο όγκος της δόσης παραμένουν ίδια, τότε ανεξάρτητα από τη μορφή και τον τύπο της χορηγούμενης καφεΐνης (τσίχλα, κάψουλα, καφές, τσάι, coca cola, σοκολάτα) οι ρυθμοί απορρόφησης είναι ίδιοι (Liguori, Hughes et al. 1997). Επίσης ένας πιο γρήγορος ρυθμός απορρόφησης μπορεί να σημαίνει μια πιο γρήγορη έναρξη των δράσεων της καφεΐνης αλλά όχι απαραίτητα και μεγαλύτερου μεγέθους (Faidon Magkos and Stavros A. Kavouras, Caffeine\_C17, 2004).

### **B. Κατανομή**

Με μέτρια κατανάλωση καφεΐνης, π.χ. 5-6 φλιτζάνια καφέ καθημερινά, οι συγκεντρώσεις καφεΐνης στο πλάσμα παραμένουν συνήθως σε επίπεδα 50  $\mu\text{mol/l}$  (Benowitz 1990), ενώ εκτιμάται ότι δόση 1 mg/ kg (ισοδύναμη περίπου με 1 φλιτζάνι καφέ) οδηγεί σε επίπεδα καφεΐνης στο πλάσμα περίπου 5-10  $\mu\text{mol/l}$  (Carrillo and Benitez 2000). Η συγκέντρωση καφεΐνης στο πλάσμα κορυφώνεται 15-120 λεπτά μετά από πρόσληψη δια του στόματος, με μία τάση για γρηγορότερη κορύφωση όταν οι δόσεις που χορηγούνται είναι μικρές (Blanchard and Sawers 1983; Mumford, Benowitz et al. 1996; Kamimori, Karyekar et al. 2002; McLean and Graham 2002). Γραμμική σχέση μεταξύ δόσης και κορυφαίας συγκέντρωσης καφεΐνης έχει φανεί σε από του στόματος λήψη δόσεων από 1 έως 10 mg/ kg (Bonati, Latini et al. 1982). Η καφεΐνη ως ουσία είναι τόσο υδρόφοβη ώστε να μπορεί να περνάει όλες τις βιολογικές μεμβράνες και κατανέμεται ευθύς σε όλους τους ιστούς του σώματος (Carrillo and Benitez 2000). Στον άνθρωπο, η καφεΐνη διαλύεται στο ολικό νερό σώματος και επιτυγχάνει σταθερό όγκο κατανομής μεταξύ 500 και 800 ml/ kg (Arnaud 1987; Kamimori, Karyekar et al. 2002; McLean and Graham 2002). 30-60 λεπτά μετά τη χορήγηση δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των συγκεντρώσεων της καφεΐνης στο πλάσμα και στα ενδοκυττάρια υγρά (Burg and Werner 1972).

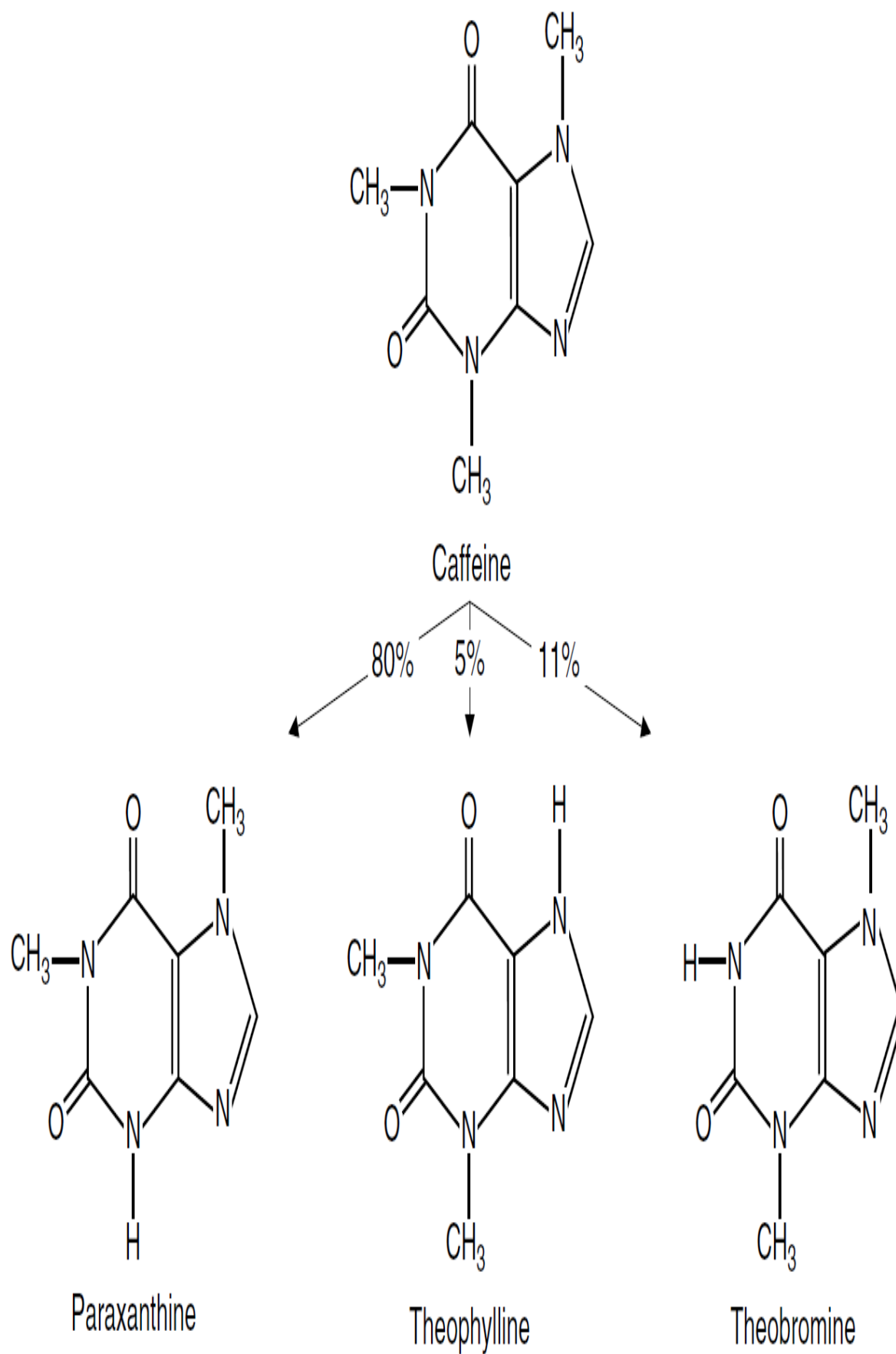
## **Γ. Μεταβολισμός**

Η καφεΐνη (1,3,7-τριμεθυλοξανθίνη) μεταβολίζεται εκτενώς στα ηπατικά μικροσώματα; έχουν ταυτοποιηθεί τουλάχιστον 25 μεταβολίτες (Somani and Gupta 1988). Ο σχηματισμός των 3 διμεθυλοξανθινών μέσω αντιδράσεων απομεθυλίωσης είναι ποσοτικά το πιο σημαντικό μεταβολικό μονοπάτι και εξηγεί πάνω από το 95% όλων των βιομετατροπών της καφεΐνης (Lelo, Miners et al. 1986). Το υπόλοιπο 5% εξηγείται από μονοπάτια που οδηγούν στο σχηματισμό τριμεθυλουρικού οξέος και παραγώγων του καθώς και από τη νεφρική απομάκρυνση της αχρησιμοποίητης ποσότητας του φαρμάκου (Lelo, Miners et al. 1986).

## **Δ. Αποβολή**

Για δόσεις κάτω των 10 mg/ kg ο χρόνος απομάκρυνσης της καφεΐνης από το πλάσμα κυμαίνεται από 2,5 έως 10 ώρες στον άνθρωπο και ο ρυθμός απομάκρυνσης περίπου από 1 έως 3 mg/ kg/ λεπτό (Blanchard and Sawers 1983; Lelo, Birkett et al. 1986; Arnaud 1987; Kaplan, Greenblatt et al. 1997; Kamimori, Karyekar et al. 2002; McLean and Graham 2002). Η μεγάλη διακύμανση στην απομάκρυνση της καφεΐνης οφείλεται περισσότερο σε διατομικές διαφορές ως προς τον μεταβολισμό και αποβολή της καφεΐνης παρά στην απορρόφηση της καφεΐνης (Faidon Magkos and Stavros A. Kavouras, Caffeine\_C17, 2004). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ποσότητα καφεΐνης που αποβάλλεται μέσω των ούρων καλύπτει λιγότερο από το 5% της από του στόματος προσλαμβανόμενης καφεΐνης, και συνήθως μόνο το 0,5-3% αποβάλλεται αμετάβλητο στα ούρα (Lelo, Miners et al. 1986; Delbeke and Debackere 1988; Miners and Birkett 1996). Επίσης η συγκέντρωση καφεΐνης στα ούρα κορυφώνεται 1-3 ώρες μετά την πρόσληψη (Delbeke and Debackere 1988).

**Σχήμα 1:** Κύριοι μεταβολίτες καφεΐνης



(Faidon Magkos and Stevos A. Kavouras, 2004)

## **Κυτταρικοί και μοριακοί μηχανισμοί δράσης της καφεΐνης *in vitro***

Αναφορικά οι δράσεις που έχουν αποδοθεί στην καφεΐνη από *in vitro* μελέτες είναι οι: (α) απελευθέρωση ασβεστίου, (β) αναστολή φωσφοδιεστεράσης, (γ) αναστολή φωσφορυλάσης γλυκογόνου, (δ) ανταγωνισμός υποδοχέων αδενοσίνης, (ε) διέγερση αντλίας  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase, (στ) αναστολή φωσφοϊνσιτιδικής κινάσης (Magkos and Kavouras 2005).

## **Φυσιολογικές και μεταβολικές δράσεις καφεΐνης *in vivo***

Οι *in vitro* μελέτες προσφέρουν πληθώρα διαφορετικών μηχανισμών που μπορούν δυνητικά να ευθύνονται ή να συμβάλλουν στις φαρμακοδυναμικές δράσεις της καφεΐνης στον άνθρωπο. Ωστόσο σε επίπεδο οργανισμού, ο μεταβολισμός του ανθρώπου είναι πιο πολύπλοκος, και πολλές φορές εμπλέκεται ταυτόχρονα ποικιλία ανεξάρτητων και ασυσχέτιστων κυτταρικών δράσεων, με διαφορετική κάθε φορά συνεισφορά, χωρίς απαραίτητα να ευθύνονται όλοι οι μηχανισμοί για τα παρατηρηθέντα αποτελέσματα *in vivo*. Ως εκ τούτου, υπάρχει η κοινή πεποίθηση ότι οι δράσεις της καφεΐνης και άλλων μεθυλοξανθινών στις διάφορες κεντρικές και περιφερικές λειτουργίες των ανθρώπινων ιστών *in vivo*, είναι αποτέλεσμα κυρίως των ανταγωνιστικών δράσεων της καφεΐνης μέσω του αποκλεισμού των υποδοχέων αδενοσίνης (Faidon Magkos and Stavros A. Kavouras, Caffeine\_C17, 2004). Σε φυσιολογικό και μεταβολικό επίπεδο η καφεΐνη έχει σχετιστεί με (α) απελευθέρωση κατεχολαμινών, (β) λιπόλυση και οξείδωση λίπους, (γ) διάσπαση γλυκογόνου, (δ) νευρομυϊκή λειτουργία (Magkos and Kavouras 2005). Περισσότερες λεπτομέρειες για τη κάθε μία από τις παραπάνω δράσεις θα βρείτε στο αντίστοιχο άρθρο (Magkos and Kavouras 2005).

## **Καφεΐνη και αθλητική απόδοση**

Η καφεΐνη αποτελεί ουσία που καταναλώνεται ευρέως από τους αθλητές λόγω της φημισμένης εργογόνου δράσης της (Doherty and Smith 2004). Επιστημονικά δεδομένα δείχνουν ότι η εργογόνος δράση της καφεΐνης είναι εμφανής σε ποσότητες κάτω των 9 ή 13 mg/ kg και η συνιστώμενη δόση κυμαίνεται από 3 έως 6 mg/ kg (Graham 2001).

Όπως έχει έως τώρα προταθεί, η καφεΐνη βελτιώνει την αθλητική απόδοση μέσω 3 κύριων μηχανισμών: (1) αύξηση κινητοποίησης ενδοκυττάριου ασβεστίου, (2) αύξηση οξείδωσης ελεύθερων λιπαρών οξέων, (3) λειτουργώντας ως ένας ανταγωνιστής των υποδοχέων αδενοσίνης του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η πρώτη καλοσχεδιασμένη και placebo-ελεγχόμενη μελέτη που εξέταζε τις δράσεις της καφεΐνης στην αθλητική απόδοση, δημοσιεύθηκε από τους River και Webber, περίπου πριν 100 χρόνια (Rivers and Webber 1907).

Οι παραπάνω ερευνητές ανέφεραν ότι κατανάλωση 500 mg καφεΐνης αύξησε το παραγόμενο έργο κατά το τράβηγμα δεδομένου βάρους με το δάκτυλο (Rivers and Webber 1907). Ομάδα παρόμοιων μελετών τα επόμενα 40 χρόνια έδειξαν ότι η καφεΐνη μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα για άσκηση και την αποκατάσταση μετά από κόπωση. Αυτές οι δράσεις αποδόθηκαν κυρίως σε υποτιθέμενη διέγερση του κεντρικού νευρικού συστήματος (Weiss and Laties 1962). Ενδιαφέροντα είναι και τα πειράματα που πραγματοποίησαν ο Foltz και οι συνεργάτες του, όπου παρατήρησαν ότι η ουσία ήταν αποτελεσματική στη βελτίωση της απόδοσης σε προπονημένα άτομα, αλλά όχι σε απροπόνητα άτομα (Faidon Magkos and Stavros A. Kavouras, Caffeine\_C17, 2004).

Ο Costill και οι συνεργάτες του ανανέωσαν το ενδιαφέρον σχετικά με την εργογόνο δράση της καφεΐνης και παρείχαν μια μεταβολική βάση για τις δράσεις της (Costill, Dalsky et al. 1978; Ivy, Costill et al. 1979) προτείνοντας ότι η εργογόνος δράση της σχετιζόταν με αύξηση της οξείδωσης των λιπαρών οξέων και εξοικονόμηση μυϊκού γλυκογόνου.

Αργότερα οι Graham και Spriet κατέδειξαν ότι πραγματικά μπορεί να συμβάλλει σε ουσιαστική βελτίωση της αθλητικής απόδοσης (Graham and Spriet 1991; Spriet, MacLean et al. 1992).

Ωστόσο, πιο πρόσφατες μελέτες επιμένουν στο γεγονός ότι η καφεΐνη επηρεάζει την αθλητική απόδοση κυρίως μέσω της δράσης της ως ανταγωνιστής των υποδοχέων αδενοσίνης στον εγκέφαλο (Davis, Zhao et al. 2003; Kalmar and Cafarelli 2004), επηρεάζοντας το βαθμό της αντιλαμβανόμενης κόπωσης (O'Connor, Motl et al. 2004; Judelson, Armstrong et al. 2005), βελτιώνοντας το χρόνο εξάντλησης λόγω άσκησης (Doherty and Smith 2004) και συνεπώς βελτιώνοντας την αθλητική απόδοση (Ganio, Klau et al. 2009).

Θεωρητικά θα περίμενε κανείς ότι κάποιες από τις επιδράσεις που προκαλεί η κατανάλωση καφεΐνης, θα έβλαπταν την ικανότητα παραγωγής έργου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (Sinclair and Geiger 2000), αλλά αυτό παρατηρείται σπάνια. Οποιοσδήποτε φόβος για διαταραχή της ισορροπίας υγρών και ηλεκτρολυτών κατά την άσκηση (π.χ. αφυδάτωση) από πρόσληψη καφεΐνης, η οποία θα έβλαπτε την απόδοση, είναι αβάσιμος όπως συνόψισε ο Armstrong (Armstrong 2002).

Το ίδιο φάνηκε και στη διπλά τυφλή μελέτη της Melissa Roti και των συνεργατών της (Roti, Casa et al. 2006), η οποία περιελάμβανε 59 υγιείς άντρες εθελοντές νεαρής ηλικίας; η χρόνια πρόσληψη καφεΐνης τόσο 3 mg/ kg όσο και 6 mg/ kg σωματικού βάρους ημερησίως δεν οδήγησε σε διαταραχή της ισορροπίας υγρών (υποϋδάτωση) ούτε και σε διαταραχή της θερμορρύθμισης κατά τη διάρκεια άσκησης 90 λεπτών σε θερμό περιβάλλον.

## ΚΑΦΕΪΝΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΩΣΗ

Η καφεΐνη και τα συγγενή της συστατικά, θεοφυλλίνη και θεοβρωμίνη, έχουν εδώ και χρόνια αναγνωριστεί ως διουρητικά μόρια, τα οποία ενισχύουν την παραγωγή ούρων μέσω αύξησης της αιματικής ροής στους νεφρούς (Armstrong 2002). Η καφεΐνη (σε καφέ, τσάι, αναψυκτικά) και η θεοφυλλίνη (σε τσάι) διεγείρουν τη νεφρική σπειραματική διήθηση και αναστέλλουν την επαναρρόφιση νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) στους νεφρώνες, προκαλώντας δηλαδή αυξημένη έκκριση  $\text{Na}^+$  και υγρών. Η διουρητική δράση της καφεΐνης σε κατάσταση ηρεμίας έχει αναγνωριστεί από το 1928. Αν και η μελέτη αυτή ορόσημο επηρέασε τους επαγγελματίες του χώρου για δεκαετίες, περιελάμβανε μόνο 3 εξεταζόμενους και η παρακολούθηση διήρκεσε μόνο κάποιες ώρες (Armstrong, Casa et al. 2007).

Όταν οι γιατροί, οι εργοφυσιολόγοι και οι διαιτολόγοι σύστηναν αποχή από κατανάλωση καφεϊνούχων ποτών πριν ή και κατά την άσκηση (Spriet 1995; Grandjean, Reimers et al. 2000), σπάνια ανέφεραν ερευνητικά ευρήματα για την υποστήριξη των υποθέσεων τους. Αντίθετα με αυτή την αντίληψη, άλλοι επαγγελματίες του χώρου θεωρούν την καφεΐνη ένα ήπιο διουρητικό που δεν θέτει σε κανένα κίνδυνο την υγεία ή την αθλητική απόδοση (Dorfman and Jarvik 1970; Robertson, Frolich et al. 1978). Μάλιστα, τρία δημοσιευμένα reviews (Nehlig and Debry 1994; Armstrong 2002; Maughan and Griffin 2003) κατέληξαν ότι τα καφεϊνούχα ποτά και το νερό επηρεάζουν το ίδιο την ισορροπία υγρών κατά την άσκηση.

Πρόσληψη καφεΐνης 1-2 ώρες πριν από άσκηση σε επίπεδα μέχρι και 8,7 mg/ kg δεν μεταβάλλει την παραγωγή ούρων ούτε την ισορροπία υγρών όταν τα άτομα ασκούνται στο 60 με 85%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  για 0,5 έως 3 ώρες (Gordon, Myburgh et al. 1982; Falk, Burstein et al. 1990; Wemple, Lamb et al. 1997; Graham, Hibbert et al. 1998). Κατά πάσα πιθανότητα, ο μηχανισμός στον οποίο οφείλεται η έλλειψη της διουρητικής δράσης της καφεΐνης κατά την άσκηση, είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των κατεχολαμινών και η μείωση της αιματικής ροής στους νεφρούς (Wemple, Lamb et al. 1997). Έως σήμερα υπάρχουν λίγα μόνο δεδομένα που να υποστηρίζουν ότι κατανάλωση καφεΐνης μπορεί να επιφέρει, βραχυπρόθεσμα, αλλαγές στα επίπεδα υδάτωσης σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά τη διάρκεια άσκησης.

Η σύσταση ότι οι αθλητές θα έπρεπε να απέχουν από την πρόσληψη καφεΐνης αλλιώς διακινδυνεύουν το βαθμό υδάτωσής τους (Casa, Armstrong et al. 2000) βασίστηκε σε μελέτες που εξέταζαν την οξεία επίδραση υψηλών επιπέδων πρόσληψης καφεΐνης (>300mg) (Maughan and Griffin 2003). Πιο παλιές μελέτες, χρησιμοποιώντας την αυξημένη παραγωγή ούρων ως

δείκτη αυξημένης διούρησης και αφυδάτωσης, έδειξαν ότι το κατώφλι για αύξηση της παραγωγής ούρων ήταν 250-300 mg πρόσληψης καφεΐνης (Robertson, Frolich et al. 1978). Η παραγωγή ούρων ήταν μεγαλύτερη τις πρώτες 3 ώρες μετά τη πρόσληψη καφεΐνης (Robertson, Frolich et al. 1978), αλλά όταν δείγματα ούρων συλλέχθηκαν στις 4 ώρες μετά τη πρόσληψη καφεΐνης, η διαφορά στη παραγωγή ούρων μεταξύ της δοκιμασίας με καφεΐνη και αυτής με placebo καταργήθηκε (Passmore, Kondowe et al. 1987). Όταν διπλασιάστηκε η πρόσληψη καφεΐνης (612mg ή 8,5 mg/kg), η παραγωγή ούρων αυξήθηκε τις επόμενες 4 ώρες (Wemple, Lamb et al. 1997). Οι κυτταρικές ιδιότητες της καφεΐνης δεν αναιρούν το γεγονός ότι μπορεί να δρα σαν οξύ διουρητικό, αλλά όταν οι παρατηρήσεις καλύπτουν ένα μικρό χρονικό διάστημα (<24 ώρες) είναι δύσκολο να βγουν συμπεράσματα για τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στα επίπεδα υδάτωσης (Armstrong 2002).

Όταν εξετάστηκε ο όγκος ούρων 24ώρου, πρόσληψη καφεΐνης 1,4 – 3,1 mg/ kg σωματικού βάρους δεν αύξησε την παραγωγή ούρων ούτε άλλαξε το επίπεδο υδάτωσης σε άτομα με συστηματική πρόσληψη καφεΐνης κατά μέσο όρο 2,3 mg/kg σωματικού βάρους (Grandjean, Reimers et al. 2000). Όταν καταναλώθηκαν μεγάλες ποσότητες καφεΐνης (8,2 – 10,2 mg/kg σωματικού βάρους), η αύξηση στην παραγωγή ούρων δεν διέφερε από άτομο σε άτομο, αλλά ήταν περίπου 41% μεγαλύτερη σε σχέση με το control, όπου οι απαιτήσεις σε υγρά είχαν καλυφθεί μόνο με πρόσληψη μεταλλικού νερού (Neuhauser, Beine et al. 1997). Ωστόσο, δε μπορούμε να καταλήξουμε ότι η καφεΐνη προκαλεί αφυδάτωση, καθώς οξεία αύξηση του παραγόμενου όγκου ούρων μετά από υψηλή πρόσληψη καφεΐνης (>300mg) μπορεί να αντισταθμιστεί αργότερα από μειωμένη παραγωγή ούρων και έτσι να αποφευχθεί οποιαδήποτε αλλαγή στα επίπεδα υδάτωσης μακροπρόθεσμα (Maughan and Griffin 2003).

Το 2004 ο Fiala και η ομάδα του δημιούργησαν μία διασταυρούμενη διπλά-τυφλή μελέτη, όπου οι εθελοντές έκαναν άσκηση 2 ώρες, 2 φορές την ημέρα, για 3 συνεχόμενες μέρες (Fiala, Casa et al. 2004). Οι εθελοντές (αθλητές) επανυδατώνονταν κατά βούληση και κατανάλωναν καθημερινά έναν όγκο υγρών που ισοδυναμούσε με 7 κονσέρβες αναψυκτικού τύπου cola είτε καφεϊνούχας είτε μη- καφεϊνούχας. Κατά τη διάρκεια των 3 ημερών δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στον όγκο ούρων, σωματικό βάρος, όγκο πλάσματος και στο ειδικό βάρος ούρων, μεταξύ των δύο συνθηκών (κατανάλωση καφεϊνούχου/ μη- καφεϊνούχου αναψυκτικού).

Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και ο Armstrong με τους συνεργάτες του, σε μελέτη όπου 59 εθελοντές κατανάλωσαν καφεΐνη 3 mg/ kg σωματικού βάρους/ ημέρα για τις πρώτες 6 συνεχόμενες ημέρες (Armstrong, Pumerantz et al. 2005). Έπειτα, τις επόμενες 5 ημέρες, οι εθελοντές χωρίστηκαν σε 3 group. Το ένα group μείωσε την προσλαμβανόμενη δόση καφεΐνης

σε 0 mg/ kg/ ημέρα, το δεύτερο group διατήρησε την πρόσληψη καφεΐνης σε 3 mg/ kg/ ημέρα και το τρίτο group διπλασίασε την πρόσληψη καφεΐνης σε 6 mg/ kg/ ημέρα. Ο όγκος των παραγόμενων ούρων καθώς επίσης και άλλοι δείκτες των επιπέδων υδάτωσης έδειξαν ότι ανεξάρτητα από την πρόσληψη καφεΐνης, τα επίπεδα υδάτωσης δεν άλλαξαν στη διάρκεια των 11 ημερών. Επίσης η ανοχή στη θερμότητα και η θερμορύθμιση όπως εξετάστηκαν τη 12<sup>η</sup> ημέρα κατά τη διάρκεια άσκησης σε θερμό περιβάλλον, δεν διέφεραν μεταξύ των επιμέρους καταστάσεων (0, 3, 6 mg/ kg/ ημέρα).

Ο πίνακας 3 εξετάζει την διουρητική δράση της καφεΐνης σε σύγκριση με ένα δείγμα υγρού-control (π.χ. νερό ή placebo) όπως έχει δημοσιευθεί σε 15 διαφορετικές μελέτες; οι 7 περιελάμβαναν άσκηση (Armstrong, Casa et al. 2007).

**Πίνακας 3:** Διουρητική δράση της καφεΐνης, λαμβάνοντας υπόψη τη δόση και τον όγκο των υγρών που καταναλώθηκαν.

| <b>Gender/ Protocol Duration/<br/>Scenario</b>                         | <b>Caffeine<br/>Dose, mg</b> | <b>Did caffeine induce<br/>significant diuresis?</b> | <b>Volume of<br/>Fluid<br/>Consumed,<br/>mL</b> |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 6 females & 6 males/ 24 h/ in a laboratory                             | 642                          | Yes, at rest and sleep                               | 3294                                            |
| 2 females & 4 males/ 4 h/ laboratory cycling                           | 586                          | Yes, at rest ; no, during exercise                   | 2560                                            |
| 7 males/ 62-64 mins/ treadmill walking with 22-kg load                 | 553                          | No, during exercise                                  | 200                                             |
| 19 males/ 6 d/ free living                                             | 452                          | No, during free living and sleep                     | 1821-2247/d                                     |
| 19 males/ 16 h/ post-EHT and free living                               | 452                          | No, during daily activities and sleep                | 2600                                            |
| 8 males/ 4 h/ resting in laboratory                                    | 360                          | Yes, at rest                                         | 946-1419                                        |
| male medical students/ 4 h/ at rest in laboratory                      | 300                          | No, at rest                                          | Not reported                                    |
| 12 females/ 3 h/ resting in laboratory                                 | 300                          | No, at rest                                          | 240                                             |
| 15 males/ 3 h/ resting in laboratory                                   | 300                          | No, at rest                                          | 480                                             |
| 37 females/ 2 h/ resting in laboratory                                 | 274                          | No, at rest                                          | 250                                             |
| 18 males/ 24 h/ free living                                            | 253                          | No, during daily activities and sleep                | 2800                                            |
| 9 males/ 3 h postexercise rehydration/ lying supine in laboratory      | 250                          | Yes, at rest                                         | 300                                             |
| 3 females & 16 males/ 2 h/ postexercise                                | 250                          | Yes, at rest                                         | 1958                                            |
| 7 females & 3 males/ 4 h*d <sup>-1</sup> for 3 d/ outdoor field sports | 245                          | No, during exercise and rest periods                 | 3800-3967/d                                     |
| 12 males/ 6 h/ resting in laboratory                                   | 240                          | Yes, at rest                                         | 750                                             |
| 20 males/ 11 d/ free living                                            | 226                          | No, during free living and sleep                     | 2078-2384/d                                     |
| 20 males/ 16 h/ post-EHT and free living                               | 226                          | No, during daily activities and sleep                | 3280                                            |
| 8 males/ 4 h/ resting in laboratory                                    | 180                          | No, at rest                                          | 946-1419                                        |
| 12 females/ 3 h/ resting in laboratory                                 | 150                          | No, at rest                                          | 240                                             |
| 15 males/ 3 h/ resting in laboratory                                   | 150                          | No, at rest                                          | 480                                             |
| 18 males/ 24 h/ free living                                            | 114                          | No, during daily activities and sleep                | 2800                                            |
| 8 males/ 4 h/ resting in laboratory                                    | 90                           | No, at rest                                          | 946-1419                                        |
| 8 males/ 4 h/ resting in laboratory                                    | 45                           | No, at rest                                          | 946-1419                                        |

(Armstrong, Casa et al. 2007)

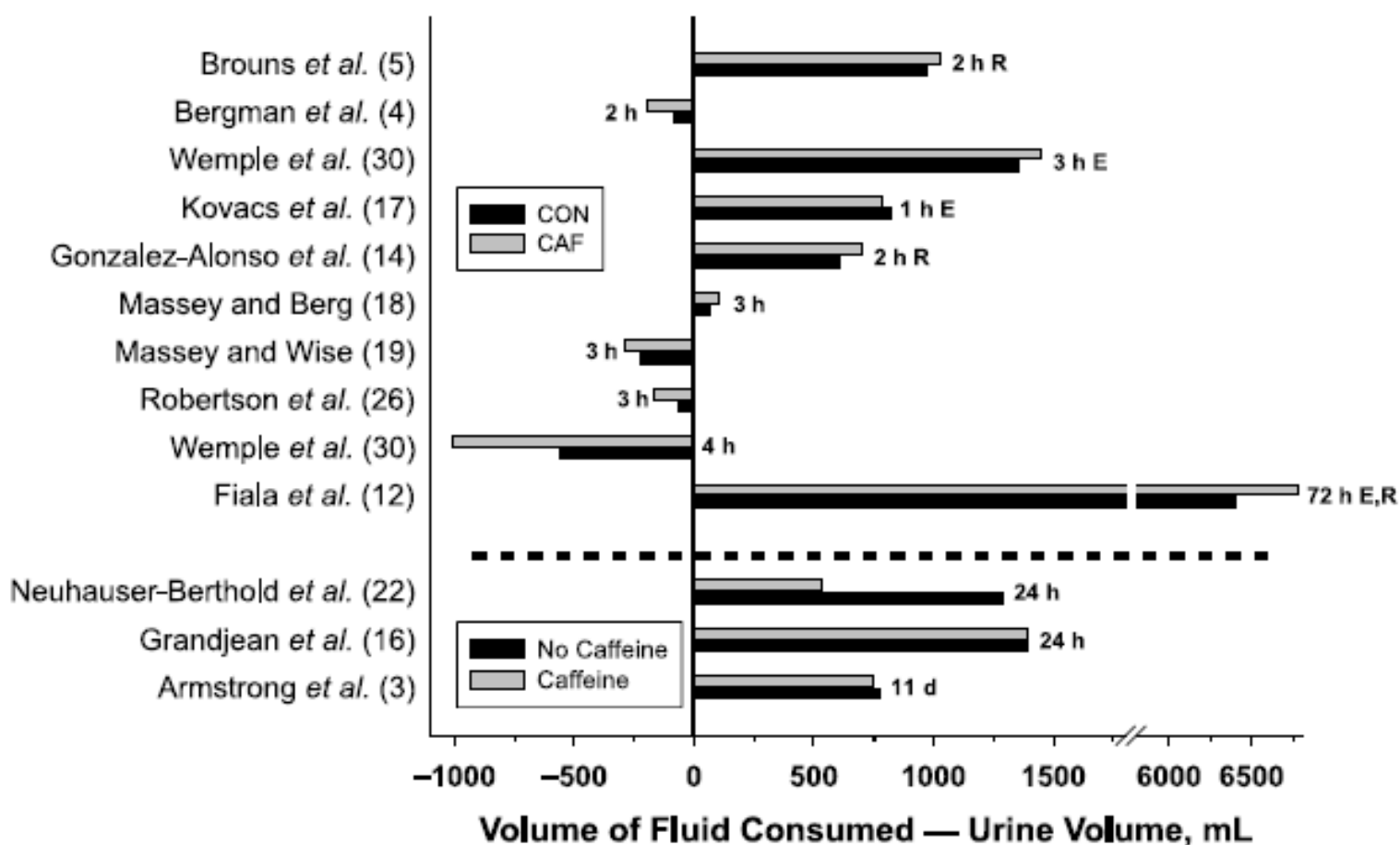
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3), οι μελέτες στις οποίες οι δόσεις καφεΐνης ήταν λιγότερο από 226 mg δεν έδειξαν καμία στατιστικά σημαντική διαφορά. Όπως

δείχνει η 3η στήλη, σημαντική διούρηση υπήρχε μόνο σε 6 από τις 23 μελέτες (ελαφρώς σκιαγραφημένα κελιά), σε κατανάλωση καφεΐνης 240 (Riesenhuber, Boehm et al. 2006) με 642 mg (Neuhauser, Beine et al. 1997). Αυτές οι δόσεις αντιστοιχούν σε περίπου 1,5 με 4,3 φλιτζάνια στιγμιαίου καφέ (150 mg καφεΐνης/ 150 mL) και 5 με 13 αναψυκτικά τύπου cola (50 mg καφεΐνης/ 360 mL). Επίσης δε φαίνεται να υπάρχει καμία σχέση μεταξύ του όγκου υγρών που καταναλώθηκε (στήλη 4) και την εμφάνιση σημαντικής διούρησης λόγω καφεΐνης (στήλη 3) (Armstrong, Casa et al. 2007).

Η διάρκεια παρακολούθησης (π.χ. 1 ώρα μέχρι 11 ημέρες) παίζει σημαντικό ρόλο αν αναλογιστούμε τη στήλη 1, καθώς το 73% των 15 μελετών αφορούσε οξεία επίδραση της καφεΐνης (1 με 6 ώρες). Σύντομες περίοδοι παρατήρησης μπορεί να καταλήξουν σε σημαντικώς διαφορετικά συμπεράσματα από μεγαλύτερες περιόδους (16 ώρες με 11 ημέρες), καθώς η ισορροπία υγρών στο σώμα μεταβάλλεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Η οξεία διούρηση *per se* πρέπει να διαχωριστεί από τη χρόνια μείωση του σωματικού νερού (Armstrong, Casa et al. 2007). Στην περίπτωση διούρησης λόγω πρόσληψης καφεΐνης (στήλη 3) δηλαδή, δεν είναι απαραίτητο ότι η 24-ωρη ή εβδομαδιαία ανακύκλωση του συνολικού νερού σώματος θα οδηγήσει σε αφυδάτωση ή υπο-υδάτωση; νευροενδοκρινικοί μηχανισμοί ρυθμίζουν επιτυχώς τον όγκο υγρών με βάση την ωσμωτικότητα του πλάσματος (Armstrong, Casa et al. 2007). Στον πίνακα 3, οι μόνες έρευνες που παρατηρούν χρόνιες επιδράσεις της πρόσληψης καφεΐνης (Fiala, Casa et al. 2004; Armstrong, Pumerantz et al. 2005), δεν βρήκαν καμία ένδειξη αφυδάτωσης σε διάφορους δείκτες της κατάστασης υδάτωσης. Συνεπώς, αν και ορισμένες μελέτες ανέφεραν ότι η καφεΐνη προκαλούσε διούρηση μεγαλύτερη από αυτή του νερού, αφενός δεν υπάρχει καμία ένδειξη χρόνιας αφυδάτωσης στην επιστημονική βιβλιογραφία και αφετέρου κανένας περιορισμός της διαιτητικής πρόσληψης καφεΐνης δεν υποστηρίζεται επιστημονικά (Armstrong, Casa et al. 2007). Τα παραπάνω συνοδεύονται και από την απουσία ενός διεθνώς αποδεκτού “gold standard” για την εκτίμηση του επιπέδου υδάτωσης (Armstrong, Casa et al. 2007).

Παρακάτω το γράφημα 1, αναπαριστά μία άλλη μέθοδο ανάλυσης της επίδρασης της καφεΐνης στην ισορροπία του σωματικού νερού (Armstrong, Casa et al. 2007). Αν ο προσλαμβανόμενος όγκος υγρών υπερβαίνει τον όγκο ούρων, η διαφορά αντιπροσωπεύει το ποσό κατακράτησης από το σώμα για την δεδομένη περίοδο παρακολούθησης. Στο γράφημα αυτό, η κατακράτηση νερού απεικονίζεται ως θετική τιμή, ενώ η καθαρή απώλεια υγρών ως αρνητική τιμή. Αυτές οι τιμές διαφέρουν μεταξύ των μελετών λόγω διαφορών στα ερευνητικά πρωτόκολλα και στους προσλαμβανόμενους όγκους υγρών. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο υδάτωσης και ο όγκος υγρών που καταναλώθηκε 12 ώρες πριν τις μετρήσεις, δεν ήταν απόλυτα ελεγχόμενα. Έτσι εξηγούνται οι αρνητικές τιμές μετά από ενυδάτωση πριν την έναρξη

των πειραμάτων, καθώς ακόμα και το ότι οι δοκιμές με placebo οδήγησαν και αυτές σε καθαρή απώλεια υγρών (αρνητική τιμή).



θετική τιμή → κατακράτηση νερού, αρνητική τιμή → καθαρή απώλεια υγρών

Ενδείξεις: CAF: *caffeine* , CON: *control fluid* ; E: *Exercise* ; R: *Rehydration after exercise*

**Γράφημα 1:** Μέση ικανότητα συγκράτησης υγρών (πάνω από τη διακεκομμένη γραμμή) μετά από οξεία κατανάλωση ενός control – υγρού ( placebo ή νερό) έναντι ενός υγρού που περιείχε καφεΐνη ή (κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή) όταν η 24 - ωρη πρόσληψη υγρών (ποτά και περιεχόμενο νερό της τροφής) περιείχε καφεΐνη έναντι μη καφεΐνης. Αρνητικές τιμές απεικονίζουν μελέτες που ανέφεραν καθαρή απώλεια υγρών. (Armstrong, Casa *et al.* 2007)

Παρ' όλα αυτά, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα καφεϊνούχα ποτά συμβάλλουν στην ενυδάτωση παρόμοια με το νερό (Armstrong, Casa *et al.* 2007).

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

**Δείγμα:** Στη μελέτη συμμετείχαν εθελοντικά 19 άντρες, ηλικίας  $26 \pm 6$  ετών, και οι οποίοι είχαν φυσιολογικό σωματικό βάρος ή ήταν ελαφρώς υπέρβαροι (Σωματικό Βάρος:  $79,3 \pm 10,7$  kg, Ύψος:  $179 \pm 6$  cm, ΔΜΣ:  $25 \pm 3$  ). Για τις ανάγκες της έρευνας οι εθελοντές που συμμετείχαν έπρεπε να πληρούν τα παρακάτω κριτήρια:

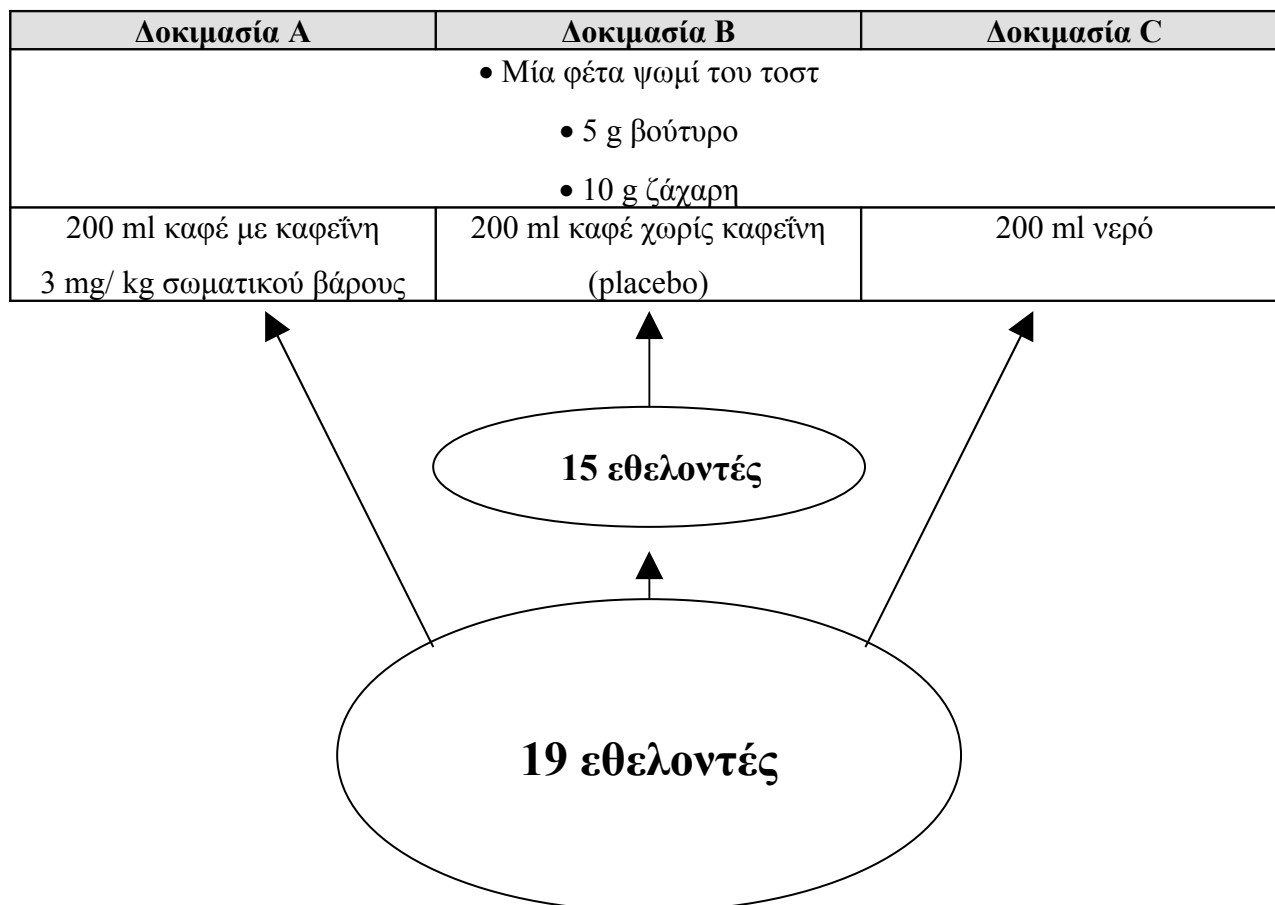
- Να μην καπνίζουν.
- Να είναι υγιείς, να μην έχουν κάποιο νεφρικό ή μεταβολικό νόσημα και να μη λαμβάνουν κάποια φαρμακευτική αγωγή που θα μπορούσε να επηρεάσει το μεταβολισμό της καφεΐνης ή τις παρατηρούμενες μεταβλητές.
- Να μην είναι αθλητές, ή να μην γυμνάζονται συστηματικά δηλαδή πάνω από 3 φορές την εβδομάδα.
- Να καταναλώνουν συστηματικά καφέ (1-2 φλιτζάνια/ ημέρα) ή άλλα ποτά και τρόφιμα που περιέχουν καφεΐνη (τσάι, αναψυκτικά, σοκολάτα). Η αξιολόγηση της μέσης κατανάλωσης αυτών των τροφίμων έγινε με τη χρήση ενός ημι-ποσοτικοποιημένου ερωτηματολογίου συχνότητας κατανάλωσης τροφίμων.

Οι εθελοντές ενημερώθηκαν για τους σκοπούς της μελέτης, το πρωτόκολλο και τις υποχρεώσεις τους. Κατόπιν υπέγραψαν συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής και καθορίστηκε η ακριβής ημέρα πραγματοποίησης του πειράματος.

*Σχεδιασμός μελέτης – Πρωτόκολλο:* Πρόκειται για διπλά τυφλή, διασταυρούμενη και τυχαιοποιημένη μελέτη. Όλοι οι εθελοντές (19 άτομα) έλαβαν μέρος σε δύο δοκιμασίες (CAF, W) και κάποιοι από αυτούς (15 άτομα τυχαία επιλεγμένα) επιπλέον σε μία τρίτη (D-CAF). Όλες οι συνεδρίες πραγματοποιήθηκαν στις 9:00 το πρωί κατά τυχαιοποιημένο, διπλά-τυφλό τρόπο με διάστημα τουλάχιστον 5 ημερών να μεσολαβεί μεταξύ κάθε 2 διαδοχικών συνεδριών.

Σε κάθε δοκιμασία, οι εθελοντές κατανάλωναν εκτός από το ανάλογο κάθε φορά ρόφημα (καφέ με καφεΐνη/ καφέ χωρίς καφεΐνη/ νερό) και πρωινό γεύμα που περιελάμβανε μία φέτα

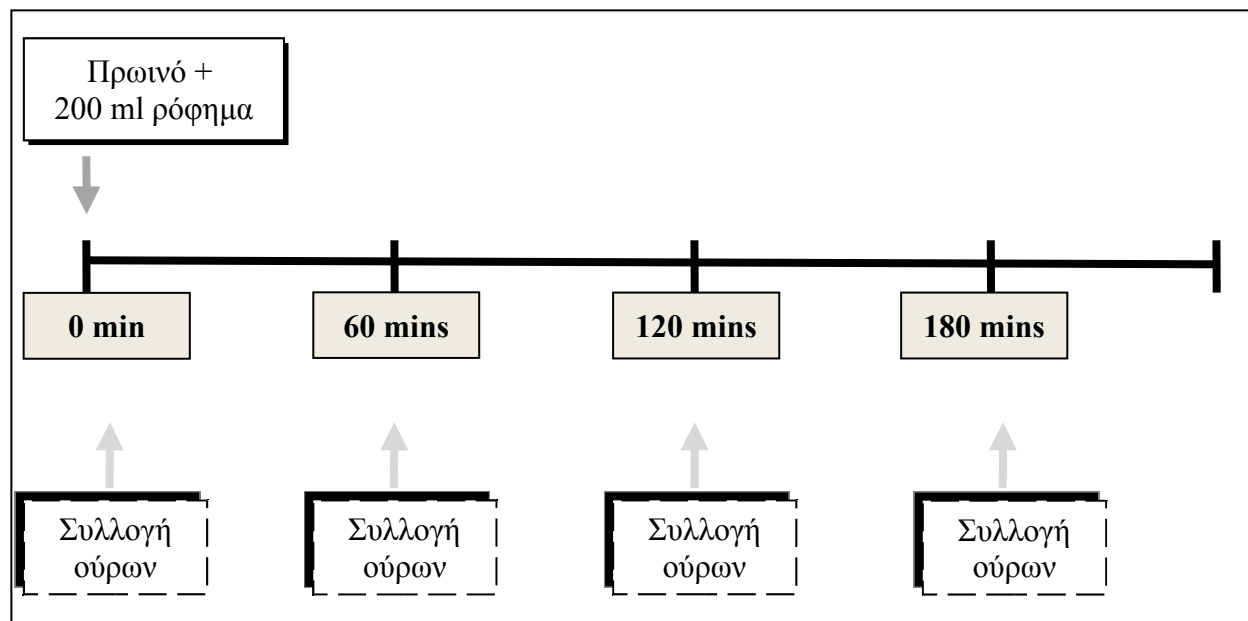
ψωμί του τοστ, 5 g βούτυρο, 10 g ζάχαρη. Ωστόσο, όπως αναφέραμε και παραπάνω μόνο 15 από τους 19 εθελοντές συμμετείχαν επιπλέον και στη δοκιμασία κατανάλωσης καφέ χωρίς καφεΐνη (D-CAF). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι 3 διαφορετικές δοκιμασίες και ο αριθμός των εθελοντών που συμμετείχαν σε αυτές:



Η ποσότητα καφεΐνης που περιείχε το διάλυμα καφέ δεν ήταν ίδια για κάθε εθελοντή, αλλά υπολογίσθηκε βάσει του σωματικού βάρους (3 mg/ kg σωματικού βάρους) και δεδομένου ότι 1 g στιγμιαίου καφέ περιέχει 38,33 mg καφεΐνης.

Οι εθελοντές συμμετείχαν σε κάθε δοκιμασία έπειτα από 12ωρη νηστεία (ελεύθερη κατανάλωση νερού). Στη πρώτη δοκιμασία κάθε εθελοντή πραγματοποιούνταν μετρήσεις σωματικού βάρους και ύψους. Οι εθελοντές προσέρχονταν στο εργαστήριο το πρωί κάθε δοκιμασίας, κατανάλωναν το προβλεπόμενο πρωινό και το αντίστοιχο ρόφημα μέσα σε 10 λεπτά. Έπειτα συλλέγονταν ούρα, τα οποία αναλύονταν ως προς το ειδικό βάρος (USG), το χρώμα και τον όγκο, με σκοπό την διεξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τα επίπεδα υδάτωσης των εθελοντών στο χρονικό σημείο έναρξης του πειράματος. Ο χρόνος μετρούσε από τη στιγμή έναρξης κατανάλωσης του πρωινού. Οι εθελοντές παρέμεναν όσο το δυνατόν καθιστοί. Δείγματα ούρων συλλέγονταν κάθε 60 λεπτά για χρονικό διάστημα 3 ωρών.

**Πίνακας 4:** Πειραματικό Πρωτόκολλο



Επιπλέον, την ημέρα της πρώτης δοκιμασίας του κάθε εθελοντή, καταγράφηκε η διαιτητική πρόσληψη της προηγούμενης ημέρας. Στη συνέχεια τους ζητήθηκε να επαναλάβουν την ίδια διαιτητική πρόσληψη την προηγούμενη ημέρα της επόμενης δοκιμασίας. Οι εθελοντές ήταν ελεύθεροι να καταναλώνουν, ως συνήθιζαν, καφέ και προϊόντα που περιέχουν καφεΐνη, αλλά για τις ανάγκες της έρευνας τους ζητήθηκε να απέχουν από την κατανάλωση αυτών καθώς και από αλκοόλ την προηγούμενη ημέρα κάθε δοκιμασίας.

*Αξιολόγηση επιπέδων υδάτωσης:* Για την αξιολόγηση της κατάστασης υδάτωσης μετρήθηκαν το ειδικό βάρος των ούρων (USG), το χρώμα των ούρων και ο όγκος των ούρων σε 4 χρονικές στιγμές (0 λεπτά, 60 λεπτά, 120 λεπτά, 180 λεπτά).

Το USG μετρήθηκε με τη χρήση διαθλασιμομέτρου (ATAGO Sur-ne (cat. No 2734) hand-held clinical refractometer, Japan). Το USG αναφέρεται στην πυκνότητα ( $d = m/V$ ) ενός διαλύματος σε σχέση με το καθαρό νερό. Κάθε υγρό πυκνότερο από το καθαρό νερό έχει ειδικό βάρος που ξεπερνάει το 1,000. Οι τιμές του USG σε υγιείς ενήλικες κυμαίνονται στο 1,013-1,029, σε περίπτωση αφυδάτωσης υπερβαίνουν το 1,030, ενώ σε περίπτωση υπερυδάτωσης κυμαίνονται στο 1,001-1,012.

Το χρώμα των ούρων αξιολογήθηκε βάσει της κλίμακας Armstrong (Armstrong, Maresh et al. 1994).

*Αξιολόγηση φυσικής δραστηριότητας:* Η φυσική δραστηριότητα αξιολογήθηκε έμμεσα, με τη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου, και αναφερόταν στη φυσική δραστηριότητα των εθελοντών την εβδομάδα πριν την ένταξή τους στην έρευνα.

*Διατροφική αξιολόγηση:* Η ενεργειακή πρόσληψη των εθελοντών για την ημέρα πριν τη κάθε δοκιμασία, καταγράφηκε με τη μέθοδο της ανάκλησης 24ώρου. Ζητήθηκε από τους εθελοντές η επανάληψη της διαιτητικής πρόσληψης της ημέρας πριν τη πρώτη δοκιμασία, και για την ημέρα πριν από κάθε επόμενη δοκιμασία.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

**Στοιχεία εθελοντών:** Μετά από ανάλυση των στοιχείων των 19 εθελοντών προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

**Πίνακας Α:** Δεδομένα εθελοντών

|                |                |
|----------------|----------------|
| Φύλο           | άντρες         |
| Ηλικία         | 26 ± 6 ετών    |
| Σωματικό Βάρος | 79,3 ± 10,7 kg |
| Ύψος           | 179 ± 6 cm     |
| ΔΜΣ            | 25 ± 3         |

**Μέση Πρόσληψη Καφεΐνης:** Η μέση πρόσληψη καφεΐνης διέφερε μεταξύ των τριών δοκιμασιών CAF, D-CAF και W. Όπως φαίνεται και στον πίνακα Β η μέση πρόσληψη καφεΐνης για κάθε δοκιμασία ήταν; CAF: 238 mg, D-CAF:  $\approx$  3 mg (3-4 mg/ 225 g ροφήματος decaffeine), W: 0 mg.

**Πίνακας Β:** Μέση Πρόσληψη Καφεΐνης

| Μέση Πρόσληψη Καφεΐνης |                |
|------------------------|----------------|
| CAF                    | 238 mg         |
| D-CAF                  | $\approx$ 3 mg |
| W                      | 0 mg           |

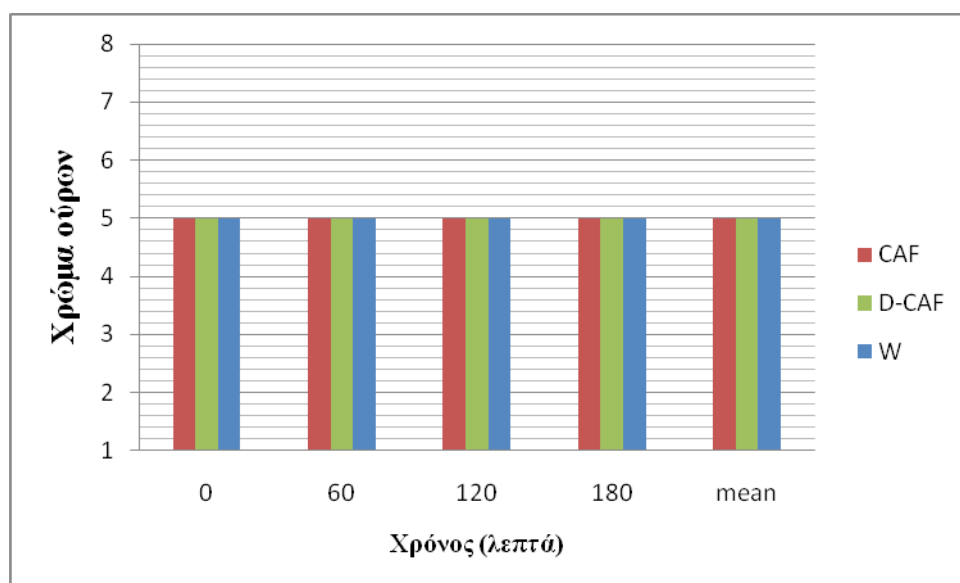
**Χρώμα ούρων – Ειδικό Βάρος ούρων – Όγκος ούρων:** Όσο αφορά στην αξιολόγηση των επιπέδων υδάτωσης, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν ούρα, ως προς το χρώμα, το ειδικό βάρος και τον παραγόμενο όγκο, στις χρονικές στιγμές 0 λεπτά, 60 λεπτά, 120 λεπτά και 180 λεπτά του πειράματος. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων απεικονίζονται στα γραφήματα 1, 2 και 3 που ακολουθούν.

**Πίνακας Γ:** Δεδομένα για χρώμα ούρων

|  | 0 λεπτά | 60 λεπτά | 120 λεπτά | 180 λεπτά | Mean |
|--|---------|----------|-----------|-----------|------|
|--|---------|----------|-----------|-----------|------|

|              |           |           |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>CAF</b>   | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ |
| <b>D-CAF</b> | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ |
| <b>W</b>     | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ | $5 \pm 1$ |

Στη στήλη 0 λεπτά παρουσιάζεται ο μέσος όρος για τις τιμές χρώματος των ούρων των εθελοντών που συμμετείχαν στις δοκιμασίες CAF, D-CAF, W αντίστοιχα. Ομοίως και για τις στήλες 60, 120, 180 λεπτά. Στη στήλη *mean* παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών χρώματος των ούρων των εθελοντών που συμμετείχαν στις δοκιμασίες CAF, D-CAF, W, και αναφέρεται συνολικά στους χρόνους 60, 120 και 180 λεπτά.



**Γράφημα 1:** Χρώμα ούρων

**Ενδείξεις:** *CAF*: δοκιμασία πρόσληψης καφεΐνης με τη μορφή καφέ, *D-CAF*: χορήγηση decaffeine καφέ, *W*: χορήγηση νερού.

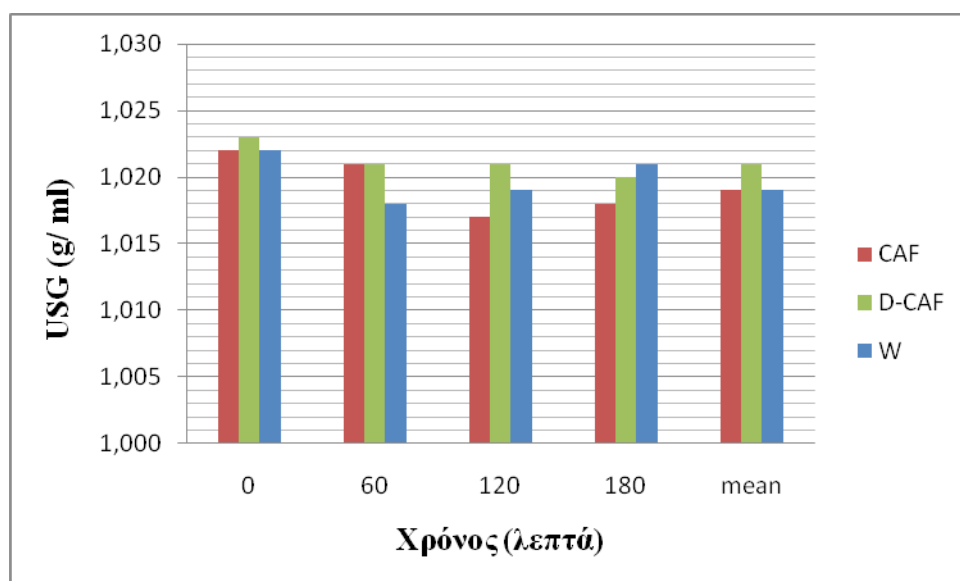
Σε κάθε χρονική στιγμή (0, 60, 120, 180) απεικονίζεται ο μέσος όρος των τιμών του χρώματος των ούρων των εθελοντών που συμμετείχαν σε κάθε δοκιμασία CAF, D-CAF, W. Όπως φαίνεται στο γράφημα 1, οι τιμές του χρώματος ούρων, κατά μέσο όρο, δεν διέφεραν μεταξύ των δοκιμασιών CAF, D-CAF, W σε καμία από τις χρονικές στιγμές 0, 60, 120, 180, ούτε συνολικά για τους χρόνους 60, 120 και 180 λεπτά (*mean*). Γενικά, όπου χρησιμοποιείται ο όρος *mean*, αναφερόμαστε στο μέσο όρο των τιμών της παρατηρούμενης μεταβλητής συνολικά για τους χρόνους 60, 120 και 180 λεπτά.

**Πίνακας Δ:** Δεδομένα για ειδικό βάρος ούρων (g/ ml)

|  | <b>0 λεπτά</b> | <b>60 λεπτά</b> | <b>120 λεπτά</b> | <b>180 λεπτά</b> | <b>Mean</b> |
|--|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------|
|--|----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------|

|              |               |               |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>CAF</b>   | 1,022 ± 0,006 | 1,021 ± 0,007 | 1,017 ± 0,007 | 1,018 ± 0,008 | 1,019 ± 0,007 |
| <b>D-CAF</b> | 1,023 ± 0,006 | 1,021 ± 0,008 | 1,021 ± 0,007 | 1,020 ± 0,006 | 1,021 ± 0,007 |
| <b>W</b>     | 1,022 ± 0,006 | 1,018 ± 0,008 | 1,019 ± 0,008 | 1,021 ± 0,006 | 1,019 ± 0,007 |

Ομοίως στον πίνακα Δ, στις στήλες 0, 60, 120, 180 λεπτά παρουσιάζεται ο μέσος όρος για τις τιμές του ειδικού βάρους των ούρων των εθελοντών που συμμετείχαν στις δοκιμασίες CAF, D-CAF, W, ενώ στη στήλη *mean* παρουσιάζεται ο μέσος όρος των τιμών του ειδικού βάρους των ούρων συνολικά για τους χρόνους 60, 120 και 180 λεπτά.



**Γράφημα 2:** Ειδικό βάρος ούρων (USG)

**Ενδείξεις:** *CAF*: δοκιμασία πρόσληψης καφεΐνης με τη μορφή καφέ, *D-CAF*: χορήγηση decaffeine καφέ, *W*: χορήγηση νερού.

Στο γράφημα 2 απεικονίζεται ο μέσος όρος των τιμών του ειδικού βάρους των ούρων των εθελοντών που συμμετείχαν σε κάθε δοκιμασία CAF, D-CAF, W για κάθε χρονική στιγμή (0, 60, 120, 180). Όπως φαίνεται, οι τιμές του ειδικού βάρους των ούρων, κατά μέσο όρο, δεν διέφεραν σημαντικά μεταξύ των δοκιμασιών CAF, D-CAF, W. Επιπλέον υπολογίστηκε το 79% των εθελοντών να έχουν  $USG > 1,020$  στην αρχή κάθε δοκιμασίας (CAF, D-CAF, W) δηλαδή στο χρόνο 0, κάτι το οποίο υποδηλώνει χαμηλά επίπεδα υδάτωσης.

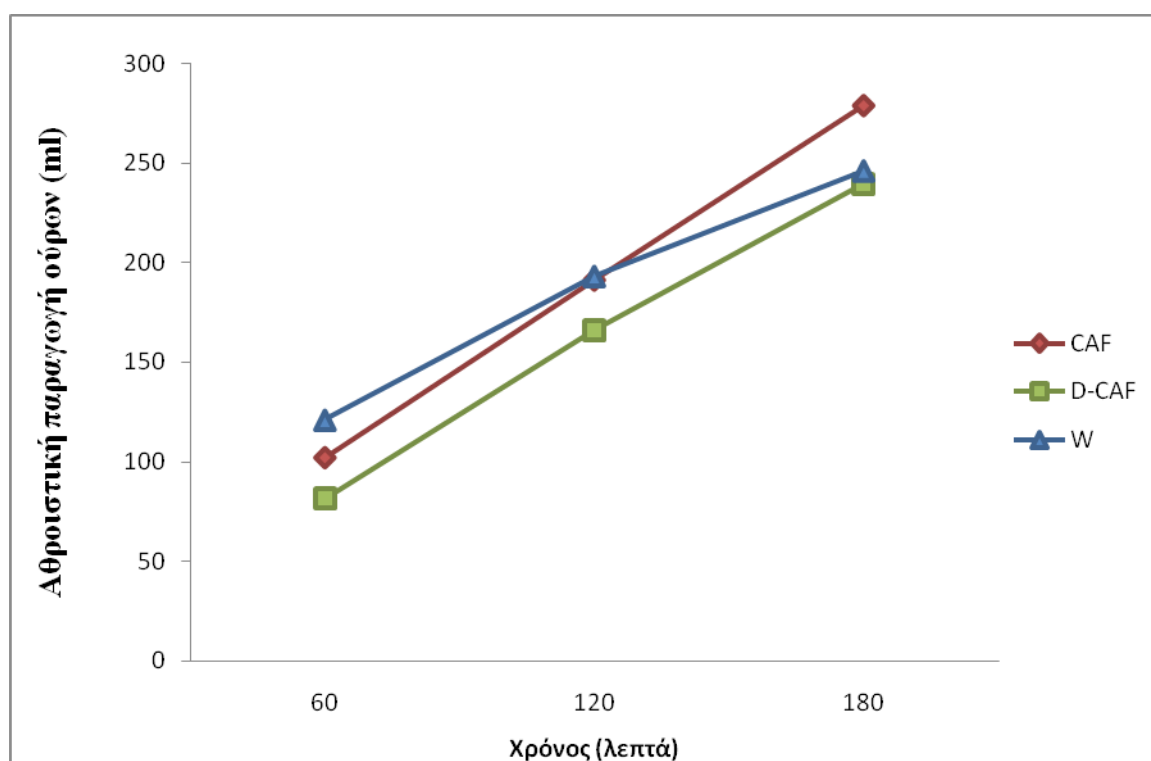
**Πίνακας Ε:** Αθροιστική παραγωγή ούρων (ml)

|            | <b>60 λεπτά</b> | <b>120 λεπτά</b> | <b>180 λεπτά</b> |
|------------|-----------------|------------------|------------------|
| <b>CAF</b> | 102 ± 64        | 191 ± 116        | 279 ± 153        |

|              |           |           |           |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>D-CAF</b> | 81 ± 57   | 166 ± 116 | 240 ± 157 |
| <b>W</b>     | 121 ± 105 | 193 ± 138 | 246 ± 167 |

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται η αθροιστική παραγωγή των ούρων. Συγκεκριμένα στη 2<sup>η</sup> στήλη του πίνακα παρουσιάζεται ο μέσος όρος του όγκου των παραγόμενων ούρων στη χρονική στιγμή 60 λεπτά, στη 3<sup>η</sup> στήλη ο μέσος όρος του όγκου των παραγόμενων ούρων που συλλέχθηκαν τη χρονική στιγμή 60 λεπτά και 120 λεπτά, και τέλος στη 4<sup>η</sup> στήλη ο μέσος όρος του όγκου των παραγόμενων ούρων που συλλέχθηκαν τη χρονική στιγμή 60 λεπτά, 120 λεπτά και 180 λεπτά.

Τα παραπάνω αποτελέσματα απεικονίζονται στο γράφημα 3. Όπως φαίνεται στο γράφημα 3, δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στην παραγωγή ούρων μεταξύ των δοκιμασιών CAF, D-CAF και W.



**Γράφημα 3:** Αθροιστική παραγωγή ούρων

**Ενδείξεις:** *CAF*: δοκιμασία πρόσληψης καφεΐνης με τη μορφή καφέ, *D-CAF*: χορήγηση decaffeine καφέ, *W*: χορήγηση νερού.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η εξέταση της οξείας επίδρασης πρόσληψης καφεΐνης 3 mg/ kg σωματικού βάρους, με τη μορφή καφέ, στην ισορροπία υγρών σε κατάσταση

ηρεμίας, σε άτομα με συστηματική κατανάλωση καφέ. Στη μελέτη συμμετείχαν 19 υγιείς άντρες εθελοντές, με συστηματική κατανάλωση καφεΐνης, οι οποίοι στα πλαίσια του πειράματος κατανάλωσαν το ενδεδειγμένο πρωινό και ρόφημα 200 ml (CAF, D-CAF, W) στις 9:00 το πρωί κάθε δοκιμασίας και έπειτα συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν ούρα ως προς το USG, χρώμα και όγκο κάθε 60 λεπτά για τις επόμενες 3 ώρες.

Η καφεΐνη έχει αναγνωριστεί ως διουρητική ουσία εδώ και χρόνια και έχει "ενοχοποιηθεί" για την αρνητική επίδρασή της στο ισοζύγιο υγρών (Armstrong, Casa et al. 2007). Ωστόσο από παλιά, μελέτες που χρησιμοποίησαν την αυξημένη παραγωγή ούρων ως δείκτη αυξημένης διούρησης και αφυδάτωσης, έδειξαν ότι το κατώφλι για αύξηση της παραγωγής ούρων είναι 250-300 mg πρόσληψης καφεΐνης (Robertson, Frolich et al. 1978). Η παραγωγή ούρων επίσης είχε φανεί να είναι μεγαλύτερη τις πρώτες 3 ώρες μετά την πρόσληψη καφεΐνης (Robertson, Frolich et al. 1978), αλλά δε φάνηκε καμία διαφορά στη παραγωγή ούρων μεταξύ της δοκιμασίας με καφεΐνη και αυτής με placebo όταν δείγματα ούρων συλλέχθηκαν στις 4 ώρες μετά τη πρόσληψη καφεΐνης (Passmore, Kondowe et al. 1987).

Επίσης η πλειοψηφία των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση των Armstrong, Casa και των συνεργατών τους (Πίνακας 3), δείχνουν να μην υπάρχει διουρητική επίδραση της καφεΐνης σε κατάσταση ηρεμίας και σε προσλήψεις 245-300 mg, όταν ο χρόνος παρακολούθησης κυμαινόταν στις 2 με 4 ώρες (Armstrong, Casa et al. 2007). Ομοίως γνωρίζουμε ότι οξεία πρόσληψη χαμηλών έως μέτριων ποσοτήτων καφεΐνης (<300 mg) δεν προκαλεί αφυδάτωση σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά τη διάρκεια άσκησης. Ούτε η χρόνια πρόσληψη χαμηλών έως υψηλών επιπέδων καφεΐνης θέτει σε κίνδυνο τη θερμορύθμιση σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά τη διάρκεια άσκησης (Armstrong 2002; Maughan and Griffin 2003). Τυχόν αλλαγή (αύξηση ή μείωση) της συνήθους πρόσληψης καφεΐνης ενός ατόμου φαίνεται επίσης να μην επηρεάζει τα επίπεδα υδάτωσης (Armstrong 2002; Maughan and Griffin 2003).

Τα έως τώρα ευρήματα δηλώνουν ότι κατανάλωση μέτριων ποσοτήτων καφεΐνης οδηγούν σε ήπια αύξηση της παραγωγής ούρων. Αν και η διούρηση μπορεί να είναι (240-642 mg καφεΐνης) ή και να μην είναι (< 240 mg καφεΐνης) σημαντικά μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση κατανάλωσης ενός υγρού-control (0 mg καφεΐνης), δεν υπάρχει καμία ένδειξη να προτείνει ότι μέτρια κατανάλωση καφεΐνης (< 456 mg) προκαλεί χρόνια αφυδάτωση ή επηρεάζει αρνητικά την αθλητική απόδοση, τη θερμορρύθμιση, και την καρδιαγγειακή λειτουργία σε ζεστό περιβάλλον (Armstrong, Casa et al. 2007). Επίσης όπως έχει φανεί, τα καφεϊνούχα υγρά συμβάλλουν στις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου σε νερό κατά παρόμοιο τρόπο με το νερό (Armstrong, Casa et al. 2007).

Στην παρούσα μελέτη, εξετάστηκε η οξεία επίδραση της πρόσληψης μικρής ποσότητας καφεΐνης (3 mg/ kg σωματικού βάρους) κατά μέσο όρο 238 mg, στην ισορροπία υγρών σώματος υγιών εθελοντών με ήπια φυσική δραστηριότητα που κατανάλωναν συστηματικά καφέ (2-3 φλιτζάνια/ ημέρα). Τα σημεία κλειδιά της μελέτης ήταν η επανάληψη της ίδιας διαιτητικής πρόσληψης την προηγούμενη ημέρα κάθε δοκιμασίας, η αποχή από οποιοδήποτε ποτό ή τρόφιμο περιείχε καφεΐνη ή άλλες μεθυλοξανθίνες και αλκοόλ για 24 ώρες πριν τη κάθε δοκιμασία, ενώ τελευταίο και σημαντικότερο ήταν η αξιολόγηση της κατάστασης υδάτωσης βάσει των δεικτών: ειδικό βάρος ούρων (USG), χρώμα ούρων, όγκος ούρων. Ωστόσο το χρώμα των ούρων φαίνεται να μην είναι και τόσο ευαίσθητος δείκτης όσο αφορά την οξεία επίδραση στην ισορροπία υγρών (Grandjean, Reimers et al. 2003). Αντίθετα φαίνεται ότι η ωσμωτικότητα του πλάσματος αποτελεί την καταλληλότερη μέτρηση και αναδεικνύει με ακρίβεια μέτριες αλλαγές στα επίπεδα υδάτωσης κατά τη διάρκεια οξείας αφυδάτωσης ή επανυδάτωσης, ενώ το ειδικό βάρος των ούρων αν και πιο ευαίσθητο σε μικρές αλλαγές στο επίπεδο υδάτωσης, υστερεί σε σχέση με τη μέτρηση της ωσμωτικότητας του πλάσματος όσο αφορά την εξέταση αλλαγών κατά τη διάρκεια οξείας αφυδάτωσης (Grandjean, Reimers et al. 2003).

Τέλος από τα δυνατά σημεία της μελέτης, και συγκριτικά με άλλες μελέτες, ήταν ότι συμπεριλήφθηκε επαρκής αριθμός εθελοντών, οι οποίοι μάλιστα κατανάλωναν συστηματικά καφεΐνη, και έριξε φως στο τι γίνεται μετά από πρόσληψη μικρής δόσης καφεΐνης, με τη μορφή καφέ, σε κατάσταση ηρεμίας.

**Συμπέρασμα:** Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης δείχνουν ότι η πρόσληψη καφεΐνης με τη μορφή καφέ, σε μικρές δόσεις, δεν είναι ικανή να διαταράξει την ισορροπία υγρών σε κατάσταση ηρεμίας, σε άτομα που καταναλώνουν συστηματικά καφέ. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι πρόσληψη καφεΐνης 3 mg/ kg σωματικού βάρους με τη μορφή καφέ ή κατά μέσο όρο 238 mg, από άτομα με συστηματική κατανάλωση καφέ, δεν εμφάνισε καμία επίδραση στην ισορροπία υγρών σε κατάσταση ηρεμίας, τουλάχιστον μέσα στις πρώτες 3 ώρες. Αν και ορισμένες μελέτες αναφέρουν ότι η καφεΐνη προκαλεί διούρηση μεγαλύτερη από αυτή του νερού, η μελέτη που πραγματοποιήθηκε δεν έδειξε κάτι τέτοιο, συνεπώς ο περιορισμός της ήπιας διαιτητικής πρόσληψης καφεΐνης δεν μπορεί να υποστηριχθεί με τα δεδομένα μας.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ:

Andersson, B. (1978). "Regulation of water intake." *Physiol Rev* 58(3): 582.

- Armstrong, L. E. (2002). "Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance." *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 12(2): 189-206.
- Armstrong, L. E., D. J. Casa, et al. (2007). "Caffeine, fluid-electrolyte balance, temperature regulation, and exercise-heat tolerance." *Exerc Sport Sci Rev* 35(3): 135-40.
- Armstrong, L. E., D. L. Costill, et al. (1985). "Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance." *Med Sci Sports Exerc* 17(4): 456-61.
- Armstrong, L. E., A. C. Pumerantz, et al. (2005). "Fluid, electrolyte, and renal indices of hydration during 11 days of controlled caffeine consumption." *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 15(3): 252-65.
- Arnaud, M. J. (1987). "The pharmacology of caffeine." *Prog Drug Res* 31: 273-313.
- Bachle, L., J. Eckerson, et al. (2001). "The effect of fluid replacement on endurance performance." *J Strength Cond Res* 15(2): 217-24.
- Barone, J. J. and H. R. Roberts (1996). "Caffeine consumption." *Food Chem Toxicol* 34(1): 119-29.
- Barr, S. I., D. L. Costill, et al. (1991). "Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid." *Med Sci Sports Exerc* 23(7): 811-7.
- Below, P. R., R. Mora-Rodriguez, et al. (1995). "Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise." *Med Sci Sports Exerc* 27(2): 200-10.
- Benowitz, N. L. (1990). "Clinical pharmacology of caffeine." *Annu Rev Med* 41: 277-88.
- Binkley, H. M., J. Beckett, et al. (2002). "National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses." *J Athl Train* 37(3): 329-343.
- Blanchard, J. and S. J. Sawers (1983). "The absolute bioavailability of caffeine in man." *Eur J Clin Pharmacol* 24(1): 93-8.
- Bonati, M., R. Latini, et al. (1982). "Caffeine disposition after oral doses." *Clin Pharmacol Ther* 32(1): 98-106.
- Bosco, J. S., R. L. Terjung, et al. (1968). "Effects of progressive hypohydration on maximal isometric muscular strength." *J Sports Med Phys Fitness* 8(2): 81-6.
- Brice, C. F. and A. P. Smith (2002). "Factors associated with caffeine consumption." *Int J Food Sci Nutr* 53(1): 55-64.
- Burg, A. W. and E. Werner (1972). "Tissue distribution of caffeine and its metabolites in the mouse." *Biochem Pharmacol* 21(7): 923-36.
- Carrillo, J. A. and J. Benitez (2000). "Clinically significant pharmacokinetic interactions between dietary caffeine and medications." *Clin Pharmacokinet* 39(2): 127-53.
- Casa, D. J., L. E. Armstrong, et al. (2000). "National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes." *J Athl Train* 35(2): 212-224.
- Cheuvront, S. N., R. Carter, 3rd, et al. (2003). "Fluid balance and endurance exercise performance." *Curr Sports Med Rep* 2(4): 202-8.
- Costill, D. L., R. Cote, et al. (1976). "Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man." *J Appl Physiol* 40(1): 6-11.
- Costill, D. L., G. P. Dalsky, et al. (1978). "Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance." *Med Sci Sports* 10(3): 155-8.
- Coyle, E. F. (2004). "Fluid and fuel intake during exercise." *J Sports Sci* 22(1): 39-55.
- Craig, E. N. and E. G. Cummings (1966). "Dehydration and muscular work." *J Appl Physiol* 21(2): 670-4.
- Davis, J. M., Z. Zhao, et al. (2003). "Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue." *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 284(2): R399-404.
- Delbeke, F. T. and M. Debackere (1988). "The influence of diuretics on the excretion and metabolism of doping agents. Part IV--Caffeine." *Biopharm Drug Dispos* 9(2): 137-45.
- Devlin, L. H., S. F. Fraser, et al. (2001). "Moderate levels of hypohydration impairs bowling accuracy but not bowling velocity in skilled cricket players." *J Sci Med Sport* 4(2): 179-87.

- Doherty, M. and P. M. Smith (2004). "Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis." *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 14(6): 626-46.
- Dorfman, L. J. and M. E. Jarvik (1970). "Comparative stimulant and diuretic actions of caffeine and theobromine in man." *Clin Pharmacol Ther* 11(6): 869-72.
- Faidon Magkos and Stavros A. Kavouras, *Nutritional Ergogenic Aids, Caffeine\_C17*, 2004.
- Falk, B., R. Burstein, et al. (1990). "Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise." *Can J Physiol Pharmacol* 68(7): 889-92.
- Fallowfield, J. L., C. Williams, et al. (1996). "Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running." *J Sports Sci* 14(6): 497-502.
- Febbraio, M. A. (2000). "Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat?" *Exerc Sport Sci Rev* 28(4): 171-6.
- Fiala, K. A., D. J. Casa, et al. (2004). "Rehydration with a caffeinated beverage during the nonexercise periods of 3 consecutive days of 2-a-day practices." *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 14(4): 419-29.
- Fredholm, B. B., K. Battig, et al. (1999). "Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use." *Pharmacol Rev* 51(1): 83-133.
- Ganio, M. S., J. F. Klau, et al. (2009). "Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review." *J Strength Cond Res* 23(1): 315-24.
- Gilbert, R. M. (1984). "Caffeine consumption." *Prog Clin Biol Res* 158: 185-213.
- Gonzalez-Alonso, J. (1998). "Separate and combined influences of dehydration and hyperthermia on cardiovascular responses to exercise." *Int J Sports Med* 19 Suppl 2: S111-4.
- Gonzalez-Alonso, J., J. A. Calbet, et al. (1999). "Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans." *J Physiol* 520 Pt 2: 577-89.
- Gonzalez-Alonso, J., R. Mora-Rodriguez, et al. (1995). "Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise." *J Appl Physiol* 79(5): 1487-96.
- Gonzalez-Alonso, J., R. Mora-Rodriguez, et al. (1997). "Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise." *J Appl Physiol* 82(4): 1229-36.
- Gonzalez-Alonso, J., C. Teller, et al. (1999). "Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat." *J Appl Physiol* 86(3): 1032-9.
- Gordon, N. F., J. L. Myburgh, et al. (1982). "Effects of caffeine ingestion on thermoregulatory and myocardial function during endurance performance." *S Afr Med J* 62(18): 644-7.
- Graham, T. E. (2001). "Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance." *Sports Med* 31(11): 785-807.
- Graham, T. E., E. Hibbert, et al. (1998). "Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion." *J Appl Physiol* 85(3): 883-9.
- Graham, T. E. and L. L. Spriet (1991). "Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise." *J Appl Physiol* 71(6): 2292-8.
- Grandjean, A. C., K. J. Reimers, et al. (2000). "The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration." *J Am Coll Nutr* 19(5): 591-600.
- Grandjean, A. C., K. J. Reimers, et al. (2003). "The effect on hydration of two diets, one with and one without plain water." *J Am Coll Nutr* 22(2): 165-73.
- Greenleaf, J. E. (1982). "Dehydration-induced drinking in humans." *Fed Proc* 41(9): 2509-14.
- Hargreaves, M., P. Dillo, et al. (1996). "Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise." *J Appl Physiol* 80(1): 363-6.
- Harland, B. F. (2000). "Caffeine and nutrition." *Nutrition* 16(7-8): 522-6.
- Ivy, J. L., D. L. Costill, et al. (1979). "Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance." *Med Sci Sports* 11(1): 6-11.

- Judelson, D. A., L. E. Armstrong, et al. (2005). "Effect of chronic caffeine intake on choice reaction time, mood, and visual vigilance." *Physiol Behav* 85(5): 629-34.
- Kalmar, J. M. and E. Cafarelli (2004). "Caffeine: a valuable tool to study central fatigue in humans?" *Exerc Sport Sci Rev* 32(4): 143-7.
- Kamimori, G. H., C. S. Karyekar, et al. (2002). "The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers." *Int J Pharm* 234(1-2): 159-67.
- Kaplan, G. B., D. J. Greenblatt, et al. (1997). "Dose-dependent pharmacokinetics and psychomotor effects of caffeine in humans." *J Clin Pharmacol* 37(8): 693-703.
- Ladell, W. S. (1955). "The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments." *J Physiol* 127(1): 11-46.
- Lelo, A., D. J. Birkett, et al. (1986). "Comparative pharmacokinetics of caffeine and its primary demethylated metabolites paraxanthine, theobromine and theophylline in man." *Br J Clin Pharmacol* 22(2): 177-82.
- Lelo, A., J. O. Miners, et al. (1986). "Quantitative assessment of caffeine partial clearances in man." *Br J Clin Pharmacol* 22(2): 183-6.
- Liguori, A., J. R. Hughes, et al. (1997). "Absorption and subjective effects of caffeine from coffee, cola and capsules." *Pharmacol Biochem Behav* 58(3): 721-6.
- Magkos, F. and S. A. Kavouras (2005). "Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action." *Crit Rev Food Sci Nutr* 45(7-8): 535-62.
- Mandel, H. G. (2002). "Update on caffeine consumption, disposition and action." *Food Chem Toxicol* 40(9): 1231-4.
- Marks, V. and J. F. Kelly (1973). "Absorption of caffeine from tea, coffee, and coca cola." *Lancet* 1(7807): 827.
- Maughan, R. J., C. E. Fenn, et al. (1989). "Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 58(5): 481-6.
- Maughan, R. J. and J. Griffin (2003). "Caffeine ingestion and fluid balance: a review." *J Hum Nutr Diet* 16(6): 411-20.
- McConell, G. K., C. M. Burge, et al. (1997). "Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise." *Acta Physiol Scand* 160(2): 149-56.
- McConell, G. K., T. J. Stephens, et al. (1999). "Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment." *Med Sci Sports Exerc* 31(3): 386-92.
- McGregor, S. J., C. W. Nicholas, et al. (1999). "The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill." *J Sports Sci* 17(11): 895-903.
- McLean, C. and T. E. Graham (2002). "Effects of exercise and thermal stress on caffeine pharmacokinetics in men and eumenorrheic women." *J Appl Physiol* 93(4): 1471-8.
- Miners, J. O. and D. J. Birkett (1996). "The use of caffeine as a metabolic probe for human drug metabolizing enzymes." *Gen Pharmacol* 27(2): 245-9.
- Montain, S. J. and E. F. Coyle (1992). "Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume." *J Appl Physiol* 73(3): 903-10.
- Montain, S. J. and E. F. Coyle (1992). "Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise." *J Appl Physiol* 73(4): 1340-50.
- Mudambo, K. S., G. P. Leese, et al. (1997). "Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exercise." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 76(6): 517-24.
- Mumford, G. K., N. L. Benowitz, et al. (1996). "Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate." *Eur J Clin Pharmacol* 51(3-4): 319-25.
- Nehlig, A. and G. Debry (1994). "Caffeine and sports activity: a review." *Int J Sports Med* 15(5): 215-23.

- Neuhauser, B., S. Beine, et al. (1997). "Coffee consumption and total body water homeostasis as measured by fluid balance and bioelectrical impedance analysis." *Ann Nutr Metab* 41(1): 29-36.
- Nicholas, C. W., F. E. Nuttall, et al. (2000). "The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer." *J Sports Sci* 18(2): 97-104.
- Nielsen, B., J. R. Hales, et al. (1993). "Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment." *J Physiol* 460: 467-85.
- Nielsen, B., T. Hyldig, et al. (2001). "Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat." *Pflugers Arch* 442(1): 41-8.
- O'Connor, P. J., R. W. Motl, et al. (2004). "Dose-dependent effect of caffeine on reducing leg muscle pain during cycling exercise is unrelated to systolic blood pressure." *Pain* 109(3): 291-8.
- Passmore, A. P., G. B. Kondowe, et al. (1987). "Renal and cardiovascular effects of caffeine: a dose-response study." *Clin Sci (Lond)* 72(6): 749-56.
- Riesenhuber, A., M. Boehm, et al. (2006). "Diuretic potential of energy drinks." *Amino Acids* 31(1): 81-3.
- Rivers, W. H. and H. N. Webber (1907). "The action of caffeine on the capacity for muscular work." *J Physiol* 36(1): 33-47.
- Robertson, D., J. C. Frolich, et al. (1978). "Effects of caffeine on plasma renin activity, catecholamines and blood pressure." *N Engl J Med* 298(4): 181-6.
- Robinson, T. A., J. A. Hawley, et al. (1995). "Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures." *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 71(2-3): 153-60.
- Roti, M. W., D. J. Casa, et al. (2006). "Thermoregulatory responses to exercise in the heat: chronic caffeine intake has no effect." *Aviat Space Environ Med* 77(2): 124-9.
- Sawka, M. N. and E. F. Coyle (1999). "Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat." *Exerc Sport Sci Rev* 27: 167-218.
- Shirreffs, S. M. (2005). "The importance of good hydration for work and exercise performance." *Nutr Rev* 63(6 Pt 2): S14-21.
- Shirreffs, S. M., S. J. Merson, et al. (2004). "The effects of fluid restriction on hydration status and subjective feelings in man." *Br J Nutr* 91(6): 951-8.
- Sinclair, C. J. and J. D. Geiger (2000). "Caffeine use in sports. A pharmacological review." *J Sports Med Phys Fitness* 40(1): 71-9.
- Somani, S. M. and P. Gupta (1988). "Caffeine: a new look at an age-old drug." *Int J Clin Pharmacol Ther Toxicol* 26(11): 521-33.
- Spriet, L. L. (1995). "Caffeine and performance." *Int J Sport Nutr* 5 Suppl: S84-99.
- Spriet, L. L., D. A. MacLean, et al. (1992). "Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans." *Am J Physiol* 262(6 Pt 1): E891-8.
- Waldvogel, S. R. (2003). "Caffeine--a drug with a surprise." *Angew Chem Int Ed Engl* 42(6): 604-5.
- Weiss, B. and V. G. Laties (1962). "Enhancement of human performance by caffeine and the amphetamines." *Pharmacol Rev* 14: 1-36.
- Wemple, R. D., D. R. Lamb, et al. (1997). "Caffeine vs caffeine-free sports drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise." *Int J Sports Med* 18(1): 40-6.
- Andersson, B. (1978). "Regulation of water intake." *Physiol Rev* 58(3): 582.
- Armstrong, L. E. (2002). "Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance." *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 12(2): 189-206.
- Armstrong, L. E., D. J. Casa, et al. (2007). "Caffeine, fluid-electrolyte balance, temperature regulation, and exercise-heat tolerance." *Exerc Sport Sci Rev* 35(3): 135-40.

- Armstrong, L. E., D. L. Costill, et al. (1985). "Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance." Med Sci Sports Exerc **17**(4): 456-61.
- Armstrong, L. E., C. M. Maresh, et al. (1994). "Urinary indices of hydration status." Int J Sport Nutr **4**(3): 265-79.
- Armstrong, L. E., A. C. Pumerantz, et al. (2005). "Fluid, electrolyte, and renal indices of hydration during 11 days of controlled caffeine consumption." Int J Sport Nutr Exerc Metab **15**(3): 252-65.
- Arnaud, M. J. (1987). "The pharmacology of caffeine." Prog Drug Res **31**: 273-313.
- Bachle, L., J. Eckerson, et al. (2001). "The effect of fluid replacement on endurance performance." J Strength Cond Res **15**(2): 217-24.
- Barone, J. J. and H. R. Roberts (1996). "Caffeine consumption." Food Chem Toxicol **34**(1): 119-29.
- Barr, S. I., D. L. Costill, et al. (1991). "Fluid replacement during prolonged exercise: effects of water, saline, or no fluid." Med Sci Sports Exerc **23**(7): 811-7.
- Below, P. R., R. Mora-Rodriguez, et al. (1995). "Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise." Med Sci Sports Exerc **27**(2): 200-10.
- Benowitz, N. L. (1990). "Clinical pharmacology of caffeine." Annu Rev Med **41**: 277-88.
- Binkley, H. M., J. Beckett, et al. (2002). "National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses." J Athl Train **37**(3): 329-343.
- Blanchard, J. and S. J. Sawers (1983). "The absolute bioavailability of caffeine in man." Eur J Clin Pharmacol **24**(1): 93-8.
- Bonati, M., R. Latini, et al. (1982). "Caffeine disposition after oral doses." Clin Pharmacol Ther **32**(1): 98-106.
- Bosco, J. S., R. L. Terjung, et al. (1968). "Effects of progressive hypohydration on maximal isometric muscular strength." J Sports Med Phys Fitness **8**(2): 81-6.
- Brice, C. F. and A. P. Smith (2002). "Factors associated with caffeine consumption." Int J Food Sci Nutr **53**(1): 55-64.
- Burg, A. W. and E. Werner (1972). "Tissue distribution of caffeine and its metabolites in the mouse." Biochem Pharmacol **21**(7): 923-36.
- Carrillo, J. A. and J. Benitez (2000). "Clinically significant pharmacokinetic interactions between dietary caffeine and medications." Clin Pharmacokinet **39**(2): 127-53.
- Casa, D. J., L. E. Armstrong, et al. (2000). "National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes." J Athl Train **35**(2): 212-224.
- Cheuvront, S. N., R. Carter, 3rd, et al. (2003). "Fluid balance and endurance exercise performance." Curr Sports Med Rep **2**(4): 202-8.
- Costill, D. L., R. Cote, et al. (1976). "Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man." J Appl Physiol **40**(1): 6-11.
- Costill, D. L., G. P. Dalsky, et al. (1978). "Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance." Med Sci Sports **10**(3): 155-8.
- Coyle, E. F. (2004). "Fluid and fuel intake during exercise." J Sports Sci **22**(1): 39-55.
- Craig, E. N. and E. G. Cummings (1966). "Dehydration and muscular work." J Appl Physiol **21**(2): 670-4.
- Davis, J. M., Z. Zhao, et al. (2003). "Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue." Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol **284**(2): R399-404.
- Delbeke, F. T. and M. Debackere (1988). "The influence of diuretics on the excretion and metabolism of doping agents. Part IV--Caffeine." Biopharm Drug Dispos **9**(2): 137-45.
- Devlin, L. H., S. F. Fraser, et al. (2001). "Moderate levels of hypohydration impairs bowling accuracy but not bowling velocity in skilled cricket players." J Sci Med Sport **4**(2): 179-87.
- Doherty, M. and P. M. Smith (2004). "Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis." Int J Sport Nutr Exerc Metab **14**(6): 626-46.

- Dorfman, L. J. and M. E. Jarvik (1970). "Comparative stimulant and diuretic actions of caffeine and theobromine in man." Clin Pharmacol Ther **11**(6): 869-72.
- Falk, B., R. Burstein, et al. (1990). "Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise." Can J Physiol Pharmacol **68**(7): 889-92.
- Fallowfield, J. L., C. Williams, et al. (1996). "Effect of water ingestion on endurance capacity during prolonged running." J Sports Sci **14**(6): 497-502.
- Febbraio, M. A. (2000). "Does muscle function and metabolism affect exercise performance in the heat?" Exerc Sport Sci Rev **28**(4): 171-6.
- Fiala, K. A., D. J. Casa, et al. (2004). "Rehydration with a caffeinated beverage during the nonexercise periods of 3 consecutive days of 2-a-day practices." Int J Sport Nutr Exerc Metab **14**(4): 419-29.
- Fredholm, B. B., K. Battig, et al. (1999). "Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use." Pharmacol Rev **51**(1): 83-133.
- Ganio, M. S., J. F. Klau, et al. (2009). "Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review." J Strength Cond Res **23**(1): 315-24.
- Gilbert, R. M. (1984). "Caffeine consumption." Prog Clin Biol Res **158**: 185-213.
- Gonzalez-Alonso, J. (1998). "Separate and combined influences of dehydration and hyperthermia on cardiovascular responses to exercise." Int J Sports Med **19 Suppl 2**: S111-4.
- Gonzalez-Alonso, J., J. A. Calbet, et al. (1999). "Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans." J Physiol **520 Pt 2**: 577-89.
- Gonzalez-Alonso, J., R. Mora-Rodriguez, et al. (1995). "Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise." J Appl Physiol **79**(5): 1487-96.
- Gonzalez-Alonso, J., R. Mora-Rodriguez, et al. (1997). "Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise." J Appl Physiol **82**(4): 1229-36.
- Gonzalez-Alonso, J., C. Teller, et al. (1999). "Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat." J Appl Physiol **86**(3): 1032-9.
- Gordon, N. F., J. L. Myburgh, et al. (1982). "Effects of caffeine ingestion on thermoregulatory and myocardial function during endurance performance." S Afr Med J **62**(18): 644-7.
- Graham, T. E. (2001). "Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance." Sports Med **31**(11): 785-807.
- Graham, T. E., E. Hibbert, et al. (1998). "Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion." J Appl Physiol **85**(3): 883-9.
- Graham, T. E. and L. L. Spriet (1991). "Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise." J Appl Physiol **71**(6): 2292-8.
- Grandjean, A. C., K. J. Reimers, et al. (2000). "The effect of caffeinated, non-caffeinated, caloric and non-caloric beverages on hydration." J Am Coll Nutr **19**(5): 591-600.
- Grandjean, A. C., K. J. Reimers, et al. (2003). "The effect on hydration of two diets, one with and one without plain water." J Am Coll Nutr **22**(2): 165-73.
- Greenleaf, J. E. (1982). "Dehydration-induced drinking in humans." Fed Proc **41**(9): 2509-14.
- Hargreaves, M., P. Dillo, et al. (1996). "Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise." J Appl Physiol **80**(1): 363-6.
- Harland, B. F. (2000). "Caffeine and nutrition." Nutrition **16**(7-8): 522-6.
- Ivy, J. L., D. L. Costill, et al. (1979). "Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance." Med Sci Sports **11**(1): 6-11.
- Judelson, D. A., L. E. Armstrong, et al. (2005). "Effect of chronic caffeine intake on choice reaction time, mood, and visual vigilance." Physiol Behav **85**(5): 629-34.
- Kalmar, J. M. and E. Cafarelli (2004). "Caffeine: a valuable tool to study central fatigue in humans?" Exerc Sport Sci Rev **32**(4): 143-7.

- Kamimori, G. H., C. S. Karyekar, et al. (2002). "The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers." Int J Pharm **234**(1-2): 159-67.
- Kaplan, G. B., D. J. Greenblatt, et al. (1997). "Dose-dependent pharmacokinetics and psychomotor effects of caffeine in humans." J Clin Pharmacol **37**(8): 693-703.
- Ladell, W. S. (1955). "The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments." J Physiol **127**(1): 11-46.
- Lelo, A., D. J. Birkett, et al. (1986). "Comparative pharmacokinetics of caffeine and its primary demethylated metabolites paraxanthine, theobromine and theophylline in man." Br J Clin Pharmacol **22**(2): 177-82.
- Lelo, A., J. O. Miners, et al. (1986). "Quantitative assessment of caffeine partial clearances in man." Br J Clin Pharmacol **22**(2): 183-6.
- Liguori, A., J. R. Hughes, et al. (1997). "Absorption and subjective effects of caffeine from coffee, cola and capsules." Pharmacol Biochem Behav **58**(3): 721-6.
- Magkos, F. and S. A. Kavouras (2005). "Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action." Crit Rev Food Sci Nutr **45**(7-8): 535-62.
- Mandel, H. G. (2002). "Update on caffeine consumption, disposition and action." Food Chem Toxicol **40**(9): 1231-4.
- Marks, V. and J. F. Kelly (1973). "Absorption of caffeine from tea, coffee, and coca cola." Lancet **1**(7807): 827.
- Maughan, R. J., C. E. Fenn, et al. (1989). "Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **58**(5): 481-6.
- Maughan, R. J. and J. Griffin (2003). "Caffeine ingestion and fluid balance: a review." J Hum Nutr Diet **16**(6): 411-20.
- McConell, G. K., C. M. Burge, et al. (1997). "Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise." Acta Physiol Scand **160**(2): 149-56.
- McConell, G. K., T. J. Stephens, et al. (1999). "Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment." Med Sci Sports Exerc **31**(3): 386-92.
- McGregor, S. J., C. W. Nicholas, et al. (1999). "The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill." J Sports Sci **17**(11): 895-903.
- McLean, C. and T. E. Graham (2002). "Effects of exercise and thermal stress on caffeine pharmacokinetics in men and eumenorrheic women." J Appl Physiol **93**(4): 1471-8.
- Miners, J. O. and D. J. Birkett (1996). "The use of caffeine as a metabolic probe for human drug metabolizing enzymes." Gen Pharmacol **27**(2): 245-9.
- Montain, S. J. and E. F. Coyle (1992). "Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume." J Appl Physiol **73**(3): 903-10.
- Montain, S. J. and E. F. Coyle (1992). "Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise." J Appl Physiol **73**(4): 1340-50.
- Mudambo, K. S., G. P. Leese, et al. (1997). "Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during and after exercise." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **76**(6): 517-24.
- Mumford, G. K., N. L. Benowitz, et al. (1996). "Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate." Eur J Clin Pharmacol **51**(3-4): 319-25.
- Nehlig, A. and G. Debry (1994). "Caffeine and sports activity: a review." Int J Sports Med **15**(5): 215-23.
- Neuhauser, B., S. Beine, et al. (1997). "Coffee consumption and total body water homeostasis as measured by fluid balance and bioelectrical impedance analysis." Ann Nutr Metab **41**(1): 29-36.
- Nicholas, C. W., F. E. Nuttall, et al. (2000). "The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer." J Sports Sci **18**(2): 97-104.

- Nielsen, B., J. R. Hales, et al. (1993). "Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment." J Physiol **460**: 467-85.
- Nielsen, B., T. Hyldig, et al. (2001). "Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat." Pflugers Arch **442**(1): 41-8.
- O'Connor, P. J., R. W. Motl, et al. (2004). "Dose-dependent effect of caffeine on reducing leg muscle pain during cycling exercise is unrelated to systolic blood pressure." Pain **109**(3): 291-8.
- Passmore, A. P., G. B. Kondowe, et al. (1987). "Renal and cardiovascular effects of caffeine: a dose-response study." Clin Sci (Lond) **72**(6): 749-56.
- Riesenhuber, A., M. Boehm, et al. (2006). "Diuretic potential of energy drinks." Amino Acids **31**(1): 81-3.
- Rivers, W. H. and H. N. Webber (1907). "The action of caffeine on the capacity for muscular work." J Physiol **36**(1): 33-47.
- Robertson, D., J. C. Frolich, et al. (1978). "Effects of caffeine on plasma renin activity, catecholamines and blood pressure." N Engl J Med **298**(4): 181-6.
- Robinson, T. A., J. A. Hawley, et al. (1995). "Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **71**(2-3): 153-60.
- Roti, M. W., D. J. Casa, et al. (2006). "Thermoregulatory responses to exercise in the heat: chronic caffeine intake has no effect." Aviat Space Environ Med **77**(2): 124-9.
- Sawka, M. N. and E. F. Coyle (1999). "Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat." Exerc Sport Sci Rev **27**: 167-218.
- Shirreffs, S. M. (2005). "The importance of good hydration for work and exercise performance." Nutr Rev **63**(6 Pt 2): S14-21.
- Shirreffs, S. M., S. J. Merson, et al. (2004). "The effects of fluid restriction on hydration status and subjective feelings in man." Br J Nutr **91**(6): 951-8.
- Sinclair, C. J. and J. D. Geiger (2000). "Caffeine use in sports. A pharmacological review." J Sports Med Phys Fitness **40**(1): 71-9.
- Somani, S. M. and P. Gupta (1988). "Caffeine: a new look at an age-old drug." Int J Clin Pharmacol Ther Toxicol **26**(11): 521-33.
- Spriet, L. L. (1995). "Caffeine and performance." Int J Sport Nutr **5 Suppl**: S84-99.
- Spriet, L. L., D. A. MacLean, et al. (1992). "Caffeine ingestion and muscle metabolism during prolonged exercise in humans." Am J Physiol **262**(6 Pt 1): E891-8.
- Waldvogel, S. R. (2003). "Caffeine--a drug with a surprise." Angew Chem Int Ed Engl **42**(6): 604-5.
- Weiss, B. and V. G. Laties (1962). "Enhancement of human performance by caffeine and the amphetamines." Pharmacol Rev **14**: 1-36.
- Wemple, R. D., D. R. Lamb, et al. (1997). "Caffeine vs caffeine-free sports drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise." Int J Sports Med **18**(1): 40-6.