



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ



## ΤΙΤΛΟΣ

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΕΦΙΔΡΩΣΗΣ**

ΤΟΥ

**Μάντζιου Κωνσταντίνου**

**ΑΕΜ: 0713099**

**Υπεύθυνος Καθηγητής**

**Γιάννης Κουτεντάκης**

**Ακαδημαϊκός Σύμβουλος**

**Ανδρέας Φλουρής**

**2017**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ρυθμός εφίδρωσης (SR) ορίζεται ως το πηλίκο των χιλιογράμμων νερού προς τα τετραγωνικά εκατοστά επιφάνειας σώματος ανά λεπτό ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{min}$ ). Η αξιολόγηση της εφίδρωσης προς τη μονάδα του χρόνου είναι μια μέτρηση η οποία για να πραγματοποιηθεί απαιτεί ειδικό εξοπλισμό. Μέχρι τώρα προκείμενου να αξιολογηθεί ο ρυθμός εφίδρωσης χρησιμοποιούνταν την μέτρηση απώλειας μάζας ολόκληρου του σώματος που προσδιορίζεται από την ζύγιση του ανθρώπου πριν και μετά την άσκηση. Το πρόβλημα με τη μέθοδο αυτή είναι πως δεν μας δίνει πληροφορίες για τη στιγμή που ο ρυθμός εφίδρωσης αυξάνεται ή μειώνεται. Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να σχεδιαστεί και υλοποιηθεί μια μέθοδος μέτρησης για την αξιολόγηση του ρυθμού εφίδρωσης χρησιμοποιώντας την τεχνική της αεριζόμενης κάψουλας. Πέντε υγιείς μη καπνιστές άνδρες εθελοντές [ $22.8 \pm 4,14$  έτη,  $77.10 \pm 3.31$  kg,  $180 \pm 7.75$  cm] έτρεξαν για μισή ώρα σε δαπεδοεργόμετρο σε ένταση 60% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας (ΜΚΣ) και συνθήκες περιβάλλοντος 30°C θερμοκρασία και 60% σχετική υγρασία. Πριν και μετά την άσκηση οι αθλούμενοι καθόντουσαν στον περιβαλλοντικό θάλαμο για 10 λεπτά. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μεγέθους επίδρασης (effect size) έδειξαν αύξηση του ρυθμού εφίδρωσης που αξιολογήθηκε ως μεγάλη, από την ηρεμία στο πρώτο δεκάλεπτο άσκησης -0.83 και από το πρώτο έως το δεύτερο δεκάλεπτο άσκησης -0.86. Συμπερασματικά, η αεριζόμενη κάψουλα είναι μία πολύ έγκυρη και αξιόπιστη μέθοδος αξιολόγησης του ρυθμού εφίδρωσης συγκριτικά με προηγούμενες μεθόδους αφού το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα καταγραφής συνεχόμενων δεδομένων σε διαφορετικά σημεία του σώματος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	4
1.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	7
2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ .....	7
2.1.1 Η ΦΙΑΛΗ .....	7
2.1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ (MASS FLOW METER). .....	8
2.1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ. ....	9
2.1.4 ΟΙ ΚΑΨΟΥΛΕΣ.....	9
2.1.5 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ. ....	10
2.1.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (SOFTWARE). ....	11
2.1.7 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΟ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ. ....	13
2.2 ΤΥΠΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΕΦΙΔΡΩΣΗΣ Ή SWEAT RATE (SR).....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΕΙΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ .....	15
3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ IN VITRO .....	15
3.1.1 ΣΚΟΠΟΣ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΓΚΕΙΡΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ IN VIVO.....	17
4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	17
4.1.1 ΔΕΙΓΜΑ.....	17
4.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ.....	17
4.1.3 ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ .....	17
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	18
4.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	22

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται περίπου από δύο έως τέσσερα εκατομμύρια ιδρωτοποιούς αδένες (Szabo 1962). Οι περισσότεροι εντοπίζονται στα πέλματα, τις παλάμες, το πρόσωπο και τη μασχάλη.

Η έκκριση του ιδρώτα διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο, από περιβάλλον σε περιβάλλον, όπως επίσης και κατά την διάρκεια της ημέρας (American College of Sports, Sawka et al. 2007). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι σε περιβάλλοντα όπου υπάρχει αυξημένη θερμοκρασία και υγρασία ή πραγματοποιείτε έντονη άσκηση η παραγωγή του ιδρώτα αυξάνεται. Ενώ, σε περιβάλλοντα με υψηλή ταχύτητα αέρα ή χαμηλή θερμοκρασία ο ρυθμός εφίδρωσης είναι μειωμένος (American College of Sports, Sawka et al. 2007). Επίσης, η παραγωγή του ιδρώτα μειώνεται σε άτομα που έχουν μικρότερη σωματική δραστηριότητα. Η μεταβολή αυτή στο ρυθμό εφίδρωσης πραγματοποιείται προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του πυρήνα του ανθρώπινου σώματος (Michael H. Stone 2007). Ειδικότερα σε αθλητές αθλημάτων μεγάλης διάρκειας παρατηρείται αυξημένη εφίδρωση λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας πυρήνα σώματος (Orpliger and Bartok 2002). Συγκεκριμένα, η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας πυρήνα σώματος οφείλεται στο γεγονός ότι ένα ποσοστό της τάξεως του 80% της χημικής ενέργειας των τροφίμων αποβάλλεται από το σώμα με τη μορφή θερμότητας, ενώ μόνο το υπόλοιπο 20% αναλώνεται σε μηχανικό έργο (American College of Sports, Sawka et al. 2007).

Η σχετική απώλεια ιδρώτα (συνολική απώλεια ιδρώτα / μάζα σώματος) σε αθλητές, κυμαίνεται ή και ξεπερνά το 5% ανάλογα με τα στοιχεία επιβάρυνσης της άσκησης. Από την άλλη, η σχετική απώλεια ιδρώτα σε μη αθλητές μεταβάλλεται περίπου στο 1% κατά τη διάρκεια της ημέρας (Orpliger and Bartok 2002). Προηγούμενες μελέτες έδειξαν ότι ο εγκλιματισμός στις περιβαλλοντικές συνθήκες του αγώνα διαφοροποιεί τον ρυθμό εφίδρωσης και εν συνεχεία τη σχετική απώλεια ιδρώτα των αθλητών. Επιπλέον, διαφοροποιήσεις στον ρυθμό εφίδρωσης παρουσιάζονται

λόγω της κληρονομικότητας, δηλαδή λόγω του συνολικού αριθμού, της δραστηριότητας, και της κατανομής των ιδρωτοποιών αδένων (American College of Sports, Sawka et al. 2007).

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μέθοδοι προκειμένου να αξιολογηθεί η απώλεια ιδρώτα και κατ' επέκταση ο ρυθμός εφίδρωσης. Η πιο εξ αυτών είναι η μέτρηση της απώλειας σωματικής μάζας μεταξύ δύο χρονικών σημείων και υπολογίζεται μέσω της ζύγισης του εθελοντή πριν και με το πέρας της άσκησης. Προκειμένου να βελτιωθεί η παραπάνω μέθοδος στη βιβλιογραφία συναντάμε αρκετούς διορθωτικούς τύπους που συμπεριλαμβάνουν την απώλεια σωματικού βάρους μέσω της εξάτμισης από το στόμα, όπως επίσης και την απώλεια σωματικού βάρους λόγω του μεταβολισμού. (Hardy and Soderstrom 1938, Snellen 1966). Παρακάτω επισυνάπτουμε ένα παράδειγμα διορθωτικού τύπου που συμπεριλαμβάνει την πρόσληψη υγρών καθώς επίσης και την απώλεια ούρων και κοπράνων (Cox, Broad et al. 2002):

$$\text{Sweat rate} = \frac{(BM_{pre} - BM_{post} + FLU_{in} - \text{Urine} + \text{Faecal})}{BSA/Time}$$

---

Sweat rate	Ρυθμός εφίδρωσης (mg/cm <sup>2</sup> /min).
BM <sub>pre</sub>	Μάζα σώματος πριν την άσκηση (Kg)
BM <sub>post</sub>	Μάζα σώματος μετά την άσκηση (Kg)
FLU <sub>in</sub>	Πρόσληψη υγρών (Kg)
Urine	Απώλεια ούρων (Kg)
Faecal	Απώλεια κοπράνων (Kg)
BSA	Συνολική επιφάνεια σώματος (cm <sup>2</sup> )
Time	Συνολικός χρόνος άσκησης (min)

## **1.1 ΣΚΟΠΟΣ**

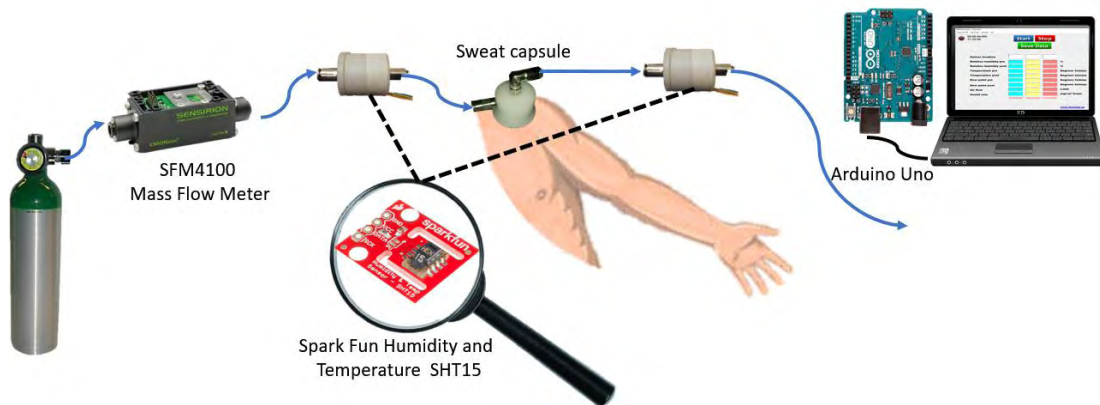
Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να σχεδιαστεί και υλοποιηθεί μια μέθοδος μέτρησης για την αξιολόγηση του ρυθμού εφίδρωσης χρησιμοποιώντας την τεχνική της αεριζόμενης κάψουλας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ

Στις παρακάτω παραγράφους θα αναλυθούν οι προδιαγραφές των κύριων εξαρτημάτων του συστήματος καταγραφής ρυθμού εφίδρωσης. Το σύστημα αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα (Εικόνα 1).

**Εικόνα 1.** Εξαρτήματα, λογισμικό και υλισμικό του συστήματος καταγραφής ρυθμού εφίδρωσης. Από αριστερά προς δεξιά διακρίνεται i) η φιάλη ξηρού αέρα (0% υγρασία), ii) ο αισθητήρας ροής αέρα, iii) ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας (πριν), iv) η κάψουλα, v) ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας (μετά), vi) ο μικροελεγκτής Arduino, και vii) το λογισμικό.



#### 2.1.1 Η ΦΙΑΛΗ

Η φιάλη είναι κατασκευασμένη από την εταιρία βιομηχανικών και ιατρικών αερίων Linde (Monaco, Germany). Αποτελείτε από ξηρό πεπιεσμένο αέρα σχετικής υγρασίας 0.006%. Η χωρητικότητά της είναι 50L και η σχετική της πίεση 200bar (Εικόνα 2). Σκοπός της είναι να τροφοδοτεί το σύστημα με μια σταθερή ροή πεπιεσμένου ξηρού αέρα.

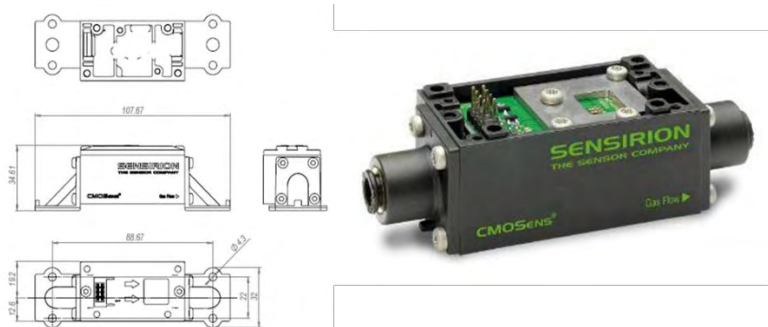
**Εικόνα 2.** Διάφορα μεγέθη φιάλης ξηρού αέρα.



### 2.1.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ (MASS FLOW METER).

Ο αισθητήρας ροής αέρα (Sensirion SFM4100, Staefa, Switzerland) χρησιμοποιείται για την μέτρηση του όγκου αέρα με εξαιρετική ακρίβεια. Συνδυάζει το στοιχείο του αισθητήρα, την επεξεργασία του σήματος και την ψηφιακή βαθμονόμηση σε έναν ενιαίο μικροσίπ. Λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας 5-9 VDC και πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C, είναι κατασκευασμένος να αντέχει σε πιέσεις έως και 10bar. Το εύρος μέτρησής του είναι 0-20L/min με ακρίβεια 3%, ο χρόνος ανταπόκρισης του 4.6ms, και η επαναληψιμότητα του 99.75%. Με την χρήση του συγκεκριμένου αισθητήρα επιτυγχάνουμε την μέτρηση της ροής ξηρού αέρα που έρχεται από την φιάλη και η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ρυθμού εφίδρωσης. Η εικόνα και τα επιμέρους στοιχεία του αισθητήρα παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.

**Εικόνα 3.** Αισθητήρας μέτρησης ροής αέρα.

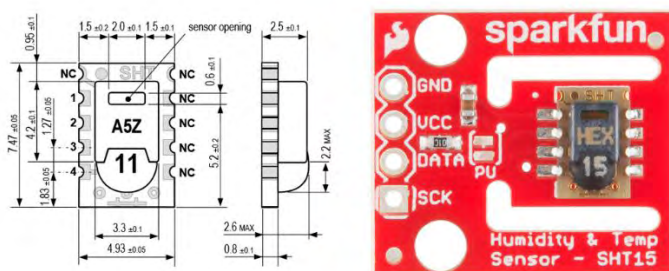




### 2.1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ.

Ο αισθητήρας σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας (Sensirion SHT15, Staefa, Switzerland) παρέχει μια πλήρως βαθμονομημένη ψηφιακή έξοδο και λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας 2,4-5,5 VDC. Το εύρος μέτρησης της σχετική υγρασίας είναι 0-100% με ακρίβεια  $\pm 2\%$  και της θερμοκρασίας  $-40 - 50^{\circ}\text{C}$  με ακρίβεια  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ . Η επαναληψιμότητα και για την σχετική υγρασία και για την θερμοκρασία είναι  $\pm 0.1$ . Η χρησιμότητα του συγκεκριμένου αισθητήρα στο σύστημα μέτρησης του ρυθμού επιδρώσεις είναι η αξιολόγηση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα πριν την είσοδο και κατά την έξοδο του από την κάψουλα. Η εικόνα και τα επιμέρους στοιχεία του αισθητήρα παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.

**Εικόνα 4.** Αισθητήρας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.



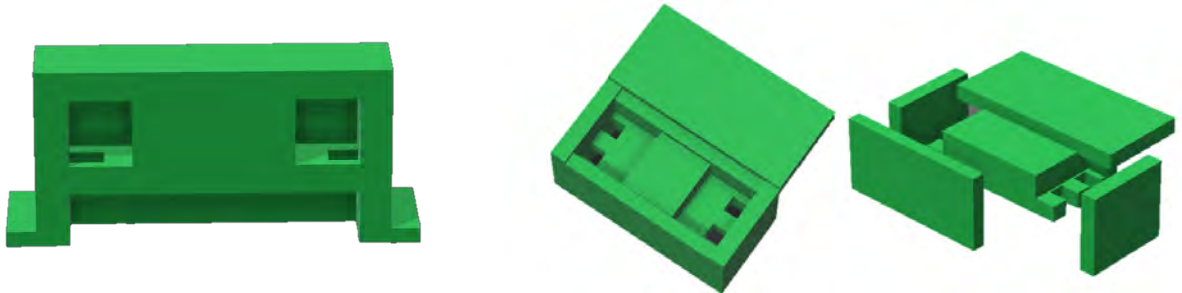
### 2.1.4 ΟΙ ΚΑΨΟΥΛΕΣ.

Κατασκευάστηκαν δύο κάψουλες με ξεχωριστή χρησιμότητα και σχήμα. Η πρώτη σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου (Εικόνα 5) και η δεύτερη κυλινδρικού σχήματος (Εικόνα 6). Η πρώτη σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα 3d builder (Microsoft Corporation, New Mexico, U.S.) και τυπώθηκε με την τεχνολογία 3d printing οι διαστάσεις της είναι 33\*21\*16 mm και κατασκευάστηκε με σκοπό να τοποθετείται σε μικρά και εύκαμπτα σημεία του σώματος, το εμβαδόν που καλύπτει στο σώμα είναι 253 mm<sup>2</sup>. Η δεύτερη κάψουλα σχεδιάστηκε κατασκευάστηκε με τη βοήθεια τόνου. Η

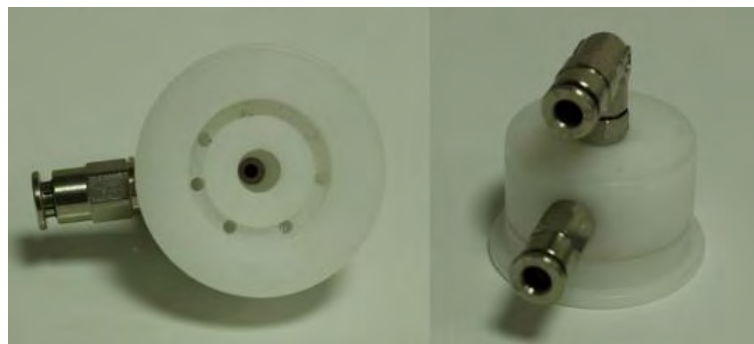
εσωτερική ακτίνα της είναι 10mm και το ύψος της 20mm και τέλος το εμβαδόν που καλύπτει στο σώμα είναι 314mm<sup>2</sup>.

**Εικόνα 5.** Κάψουλα (α)

(προσθιοπίστια τομή)



**Εικόνα 6.** Κάψουλα (β)



(κάτω όψη)



(πάνω όψη)



### 2.1.5 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ.

Για την σύνδεση των αισθητήρων χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Arduino uno rev3 (Inrea, Italy) Το Arduino (Εικόνα 7). είναι ένας πίνακας μικροελεγκτών που βασίζεται στο ATmega328. Περιέχει όλα όσα χρειάζονται για να υποστηρίξουν τον μικροελεγκτή. Συνδέεται με τον υπολογιστή με καλώδιο USB και προγραμματίζετε με κάθε είδους

αισθητήρα. Σκοπός του μικροελεγκτή είναι να διαβάζει δεδομένα από τους διάφορους αισθητήρες και να τα μεταφέρει στον υπολογιστή.

**Εικόνα 7.** Ο μικροελεγκτής Arduino.



### **2.1.6 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ (SOFTWARE).**

Σχεδιάστηκε για την συλλογή των δεδομένων από τον μικροελεγκτή μια εφαρμογή-πρόγραμμα για υπολογιστή (Microsoft windows, New Mexico, U.S.). Το πρόγραμμα κατασκευάστηκε με την βοήθεια του προγραμματιστικού πακέτου Visual Basic 6. Η χρησιμότητα του ήταν ο υπολογισμός του ρυθμού εφίδρωσης με βάση τα δεδομένα που λαμβάνει από τους αισθητήρες. Μέσω του συγκεκριμένου προγράμματος ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάζει τον τύπο της κάψουλας, τον ρυθμό (σε second) τον οποίο θέλει να εμφανίζονται τα αποτελέσματα καθώς και να αποθηκεύει τα αποτελέσματα τα σε αρχείο excel (Εικόνες 8,9). Τέλος ο χρήστης μέσω του συγκεκριμένου προγράμματος έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί σε διάγραμμα τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (Εικόνα 10).

**Εικόνα 8.** Το πρόγραμμα για τον υπολογισμό του ρυθμού εφίδρωσης.

FAME Laboratory - Sweat Rate  
Chart On/Off Settings Exit

00:11:53:484  
19:58:50

**Start** **Stop**  
**Save Data**

Sensor location				
Relative humidity pre	2.01	29.47	51.03	%
Relative humidity post	12.44	52.46	51.03	%
Temperature pre	26.97	27.64	27.46	Degrees Celsius
Temperature post	26.64	27.30	27.45	Degrees Celsius
Dew point pre	-26.40	8.23	16.43	Degrees Celsius
Dew point post	-4.66	16.72	16.42	Degrees Celsius
Air flow	0.70	0.04	0.00	L/min
Sweat rate	0.5840			mg/cm <sup>2</sup> /min

Connected Connected Connected

[www.famelab.gr](http://www.famelab.gr)

**Εικόνα 9.** Ρυθμίσεις για τη λειτουργία του προγράμματος.

Settings

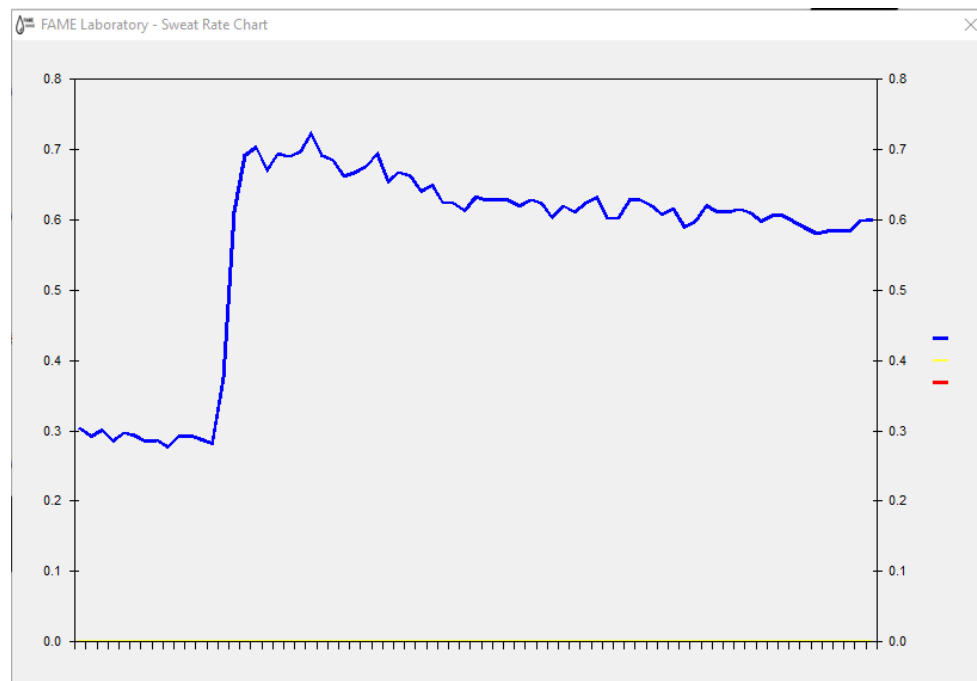
**Save Settings**

Com ports

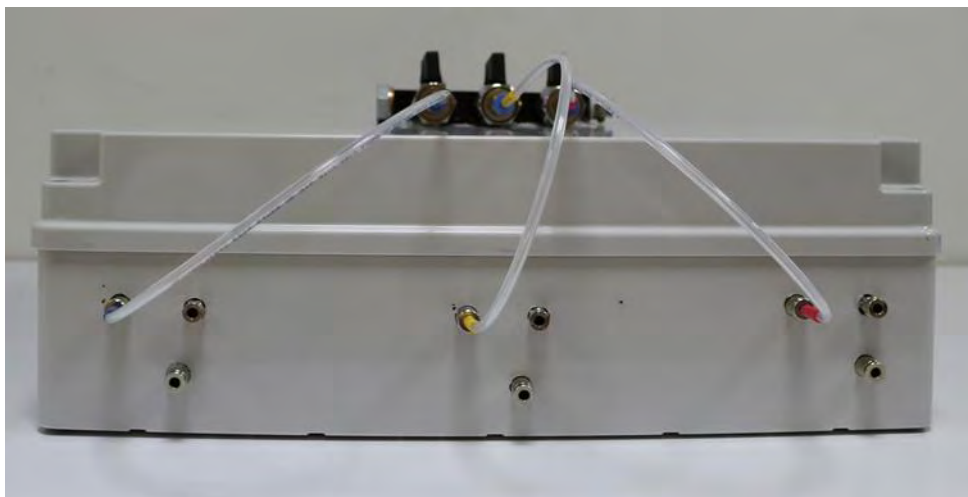
Store rate

Select the type of the capsule

**Εικόνα 10.** Διάγραμμα σε πραγματικό χρόνο.



## 2.1.7 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΟ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ.



## 2.2 ΤΥΠΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΕΦΙΔΡΩΣΗΣ Ή SWEAT RATE (SR).

Ο ρυθμός εφίδρωσης (SR) ορίζεται ως το πηλίκο των χιλιόγραμμων νερού προς τα τετραγωνικά εκατοστά επιφάνειας σώματος ανά λεπτό και εκφράζεται σε mg/cm<sup>2</sup>/min. Για τον υπολογισμό του SR χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$SR = S_2 - S_1$$

$$S_x = ( V * P_{sa_x} * ( Rh_x / 100 ) ) / ( TK_x * M ) / A ) * 1000$$

V = Ρυθμός με τον οποίο περνάει ο αέρας (L/min)

$P_{sa_x} = ( \text{EXP} ( 18,956 - ( 4030,18 / ( TC + 235 ) ) ) ) * 0,7500637554192$  (Parsons 2002)

Rh = Σχετική υγρασία αέρα (%)

TK = Θερμοκρασία του αέρα σε Kelvin (k)

TC = θερμοκρασία του αέρα σε Celsius (°C)

M = 3.464

A = εμβαδόν το οποίο καλύπτετε από την κάψουλα (cm<sup>2</sup>)

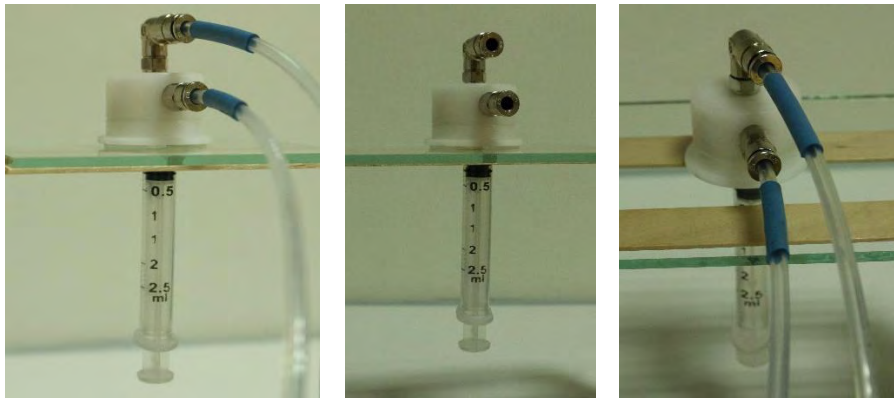
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΓΚΕΙΡΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΛΗΨΙΜΟΤΗΤΑΣ**

### **3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ IN VITRO**

#### **3.1.1 ΣΚΟΠΟΣ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητα η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα του συστήματος στήθηκε ένα πείραμα (in vitro). Μέσο μιας πιπέτας με ακρίβεια 10-100μl τοποθετήθηκε στο σύστημα μία ποσότητα νερού 100 μl. Η κυλινδρική κάψουλα (β) κολλήθηκε πάνω σε μία γυάλινη επιφάνεια στην οποία είχε τοποθετηθεί μια σύριγγα όπου μέσω αυτής περνούσαν οι ποσότητες νερού (Εικόνα 11) . Προκειμένου να μην υπάρχουν διαρροές η κάψουλα κολλήθηκε με κόλα δέρματος SLE COLLODION ADHESIVE (Εικόνα 12). Μετρήθηκε ο χρόνος ανταπόκρισης του συστήματος από την στιγμή που τοποθετήθηκε το νερό καθώς και ο συνολικός χρόνος απομάκρυνσης της ποσότητας νερού. Ειδικότερα στο πείραμα αξιολογήθηκε η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα του συστήματος σε μεγάλες ποσότητες νερού 100μl σε δυο ξεχωριστές μετρήσεις ιδίων συνθήκων (Εικόνα 13). Από τα αποτελέσματα προκύπτει πως και στις δύο μετρήσεις ο χρόνος ανταπόκρισης, από την στιγμή που τοποθετήθηκαν οι ποσότητες νερού μέχρι την ένδειξη της πρώτης υψηλής τιμής, ήταν μικρότερος των 20 δευτερολέπτων (<20 sec). Επίσης εκτελέστηκε ανάλυση συσχέτισης Pearson r για να εξεταστεί η σχέση της πρώτης δόσης στα 100μl με τη δεύτερη δόση. Τα αποτελέσματα έδειξαν υψηλή θετική και στατιστικά σημαντική συσχέτιση με ( $r=0.98$ ,  $p<0.01$ ). Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε κριτήριο t για εξαρτημένα δείγματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές στις δύο δόσεις  $t(5) = -2.269$ ,  $p> 0.05$ , στην 1η (M.O = 0.5834, T.A = 0.2382) και στην 2η (M.O = 0.5391, T.A = 0.2201).

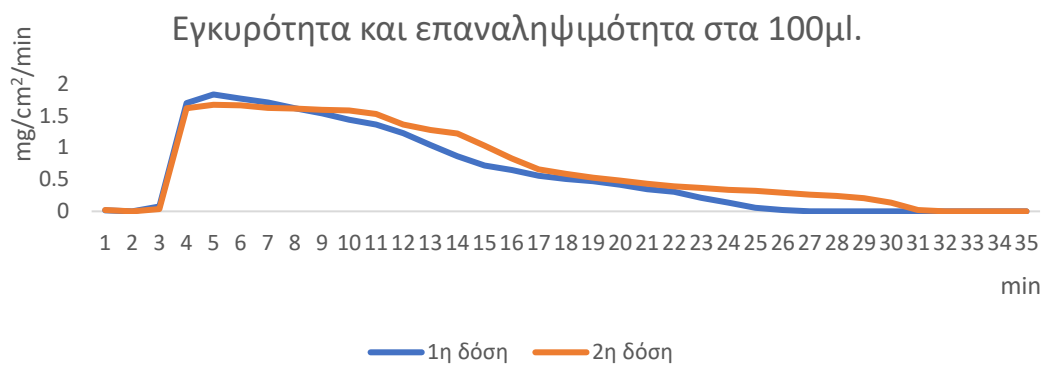
**Εικόνα 11.** Διαδικασία για την τοποθέτηση του νερού στην κάψουλα.



**Εικόνα 12.** Κόλλα SLE COLLODION ADHESIVE.



**Εικόνα 13.** Διάγραμμα εγκυρότητας και επαναληψιμότητας στα 100μl SR(mg/cm<sup>2</sup>/min).





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΓΚΕΙΡΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ IN VIVO**

### **4.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

#### **4.1.1 ΔΕΙΓΜΑ**

Το δείγμα της παρούσας έρευνας αποτελούνταν από 5 άντρες εθελοντές [ηλικίας:  $22.8 \pm 4,14$  έτη, βάρος:  $77.10 \pm 3.31$  kg, ύψος:  $180 \pm 7.75$  cm]. Όλοι οι ασκούμενοι ήταν υγιείς και μη καπνιστές.

#### **4.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ**

Πριν από την έναρξη των μετρήσεων στους συμμετέχοντες δόθηκε μια λεπτομερής λεκτική περιγραφή του πειραματικού πρωτοκόλλου με όλες τις διαδικασίες και τα μέσα συλλογής δεδομένων. Ανθρωπομετρικές μετρήσεις διεξήχθησαν πριν και μετά το τεστ. Στη συνέχεια ο εθελοντής εισερχόταν στον θάλαμο όπου και έμενε σε καθιστή θέση για 10 λεπτά και στη συνέχεια έτρεχε στο δαπεδοεργόμετρο για μισή ώρα στο 60% της μέγιστης καρδιακής συχνότητας ΜΚΣ. Μετά την ολοκλήρωση του τεστ ο ασκούμενος παρέμενε για άλλα 10 λεπτά σε καθιστή θέση μέσα στον περιβαλλοντικό θάλαμο. Όλες οι μετρήσεις έγιναν υπό ελεγχόμενες συνθήκες στον περιβαλλοντικό θάλαμο με θερμοκρασία αέρα 30C και σχετική υγρασία 60%.

#### **4.1.3 ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ**

##### **Ύψος και βάρος**

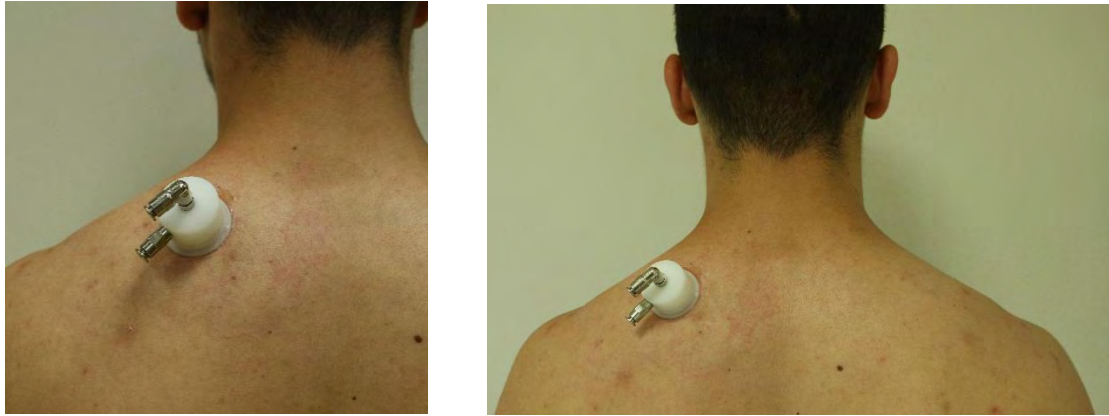
Το ύψος καταγράφηκε στο πλησιέστερο εκατοστό του μέτρου. Η μέτρηση του βάρους πραγματοποιήθηκε (ακρίβεια στο πλησιέστερο 0.001 kg) με κλίμακα βάρους ακριβείας (KernDE 150K2D, KERN&SOHNGmbH, Balingen, Germany). Η εκτίμηση του σωματικού βάρους έγινε στην αρχή και στο τέλος της άσκησης με σκοπό να εκτιμηθεί η συνολική απώλεια ιδρώτα.

##### **Ρυθμός εφίδρωσης**

Ο ρυθμός εφίδρωσης μετρήθηκε με αεριζόμενη κάψουλα  $314\text{mm}^2$  η οποία τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του δέρματος στο τραπεζοειδή μυ (Εικόνα 14).

Προκειμένου να μην υπάρχουν διαρροές η κάψουλα κολλήθηκε με κόλα δέρματος SLE COLLODION ADHESIVE. Άνδρος πεπιεσμένος αέρας περνούσε μέσα από την κάψουλα και πάνω από την επιφάνεια του δέρματος με ταχύτητα  $\approx 0.80$  L/min.

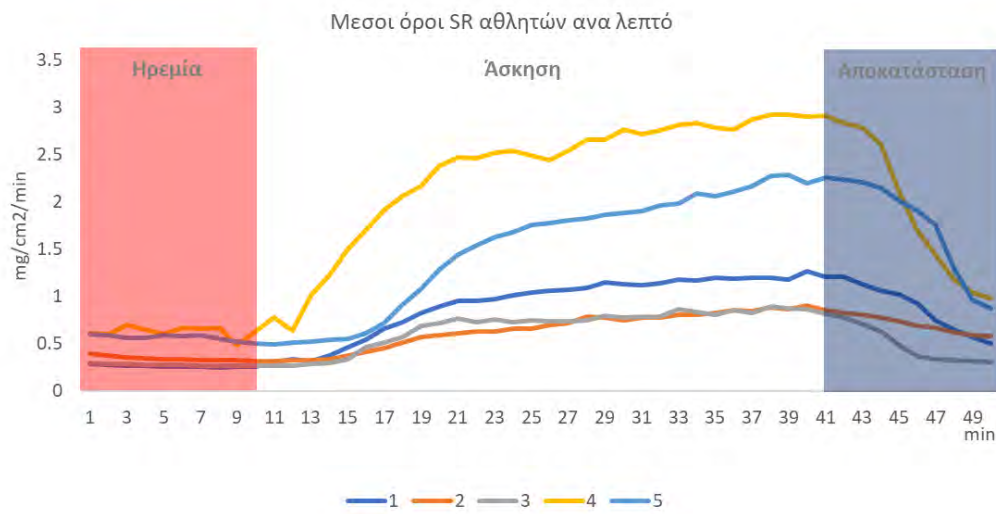
**Εικόνα 14:** Σημείο τοποθέτησης της κάψουλας.



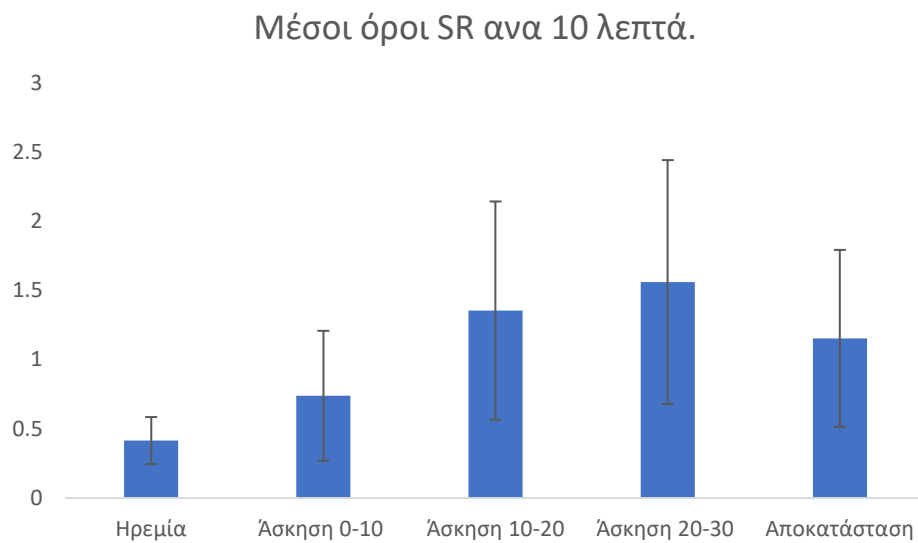
#### 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στη Εικόνα 15 φαίνονται οι τιμές του ρυθμού εφίδρωσης των αθλητών στην αρχή, κατά τη διάρκεια και στο τέλος του πρωτοκόλλου άσκησης. Ειδικότερα παρατηρείται μια αύξηση του ρυθμού εφίδρωσης αμέσως μετά την έναρξη της άσκησης και στους πέντε αθλητές (Εικόνα 16). Από την ηρεμία στο πρώτο δεκάλεπτο άσκησης και από το πρώτο έως το δεύτερο δεκάλεπτο άσκησης βρέθηκε αύξηση του ρυθμού εφίδρωσης που αξιολογήθηκε ως μεγάλη μέσω μεγέθους επίδρασης (effect size) -0.83 και -0.86 αντίστοιχα (Εικόνα 17).

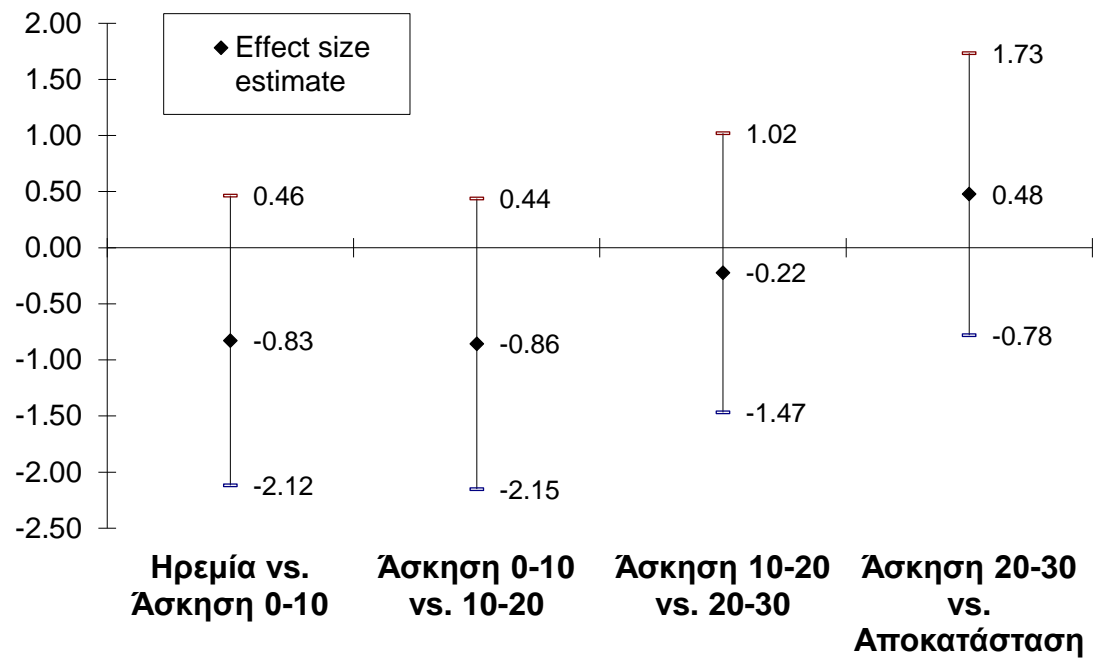
**Εικόνα 15.** Μέσοι όροι ρυθμού εφίδρωσης SR των αθλητών ανα λεπτό.



**Εικόνα 16.** Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις ανα 10 λεπτά όλων των αθλητών.



**Εικόνα 17.** Μέγεθος επίδρασης μεταξύ των φάσεων.



### 4.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 1, στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές μέθοδοι προκειμένου να αξιολογηθεί ο ρυθμός εφίδρωσης. Οι μέθοδοι αυτοί όμως χαρακτηρίζονται από τη λήψη μειωμένου όγκου πληροφοριών ρυθμού εφίδρωσης σε σύγκριση με τη πραγματικότητα. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός εφίδρωσης που παρέχεται δεν αντικατοπτρίζει τον πραγματικό ρυθμό εφίδρωσης στη μονάδα του χρόνου καθώς η τιμή που λαμβάνουμε καθρεφτίζει το μέσο ρυθμό εφίδρωσης κατά τη διάρκεια ενός πειραματικού πρωτοκόλλου. Ως εκ τούτου, ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός συστήματος συνεχής καταγραφής και αξιολόγησης του ρυθμού εφίδρωσης στη μονάδα του χρόνου. Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα λήψης, επεξεργασίας, αξιολόγησης και καταγραφής συνεχόμενων δεδομένων σε διαφορετικά σημεία του ανθρώπινου σώματος. Εν αντιθέσει, με τη χρήση προηγούμενης βιβλιογραφίας για την αξιολόγησης του ρυθμού εφίδρωσης (Cox, Broad et al. 2002) δεν έχουμε εικόνα για τις μεταβολές του ρυθμού εφίδρωσης στη μονάδα του χρόνου, όπως επίσης, δεν υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης και αξιολόγησης δεδομένων από διαφορετικά σημεία του ανθρώπινου σώματος.

Συμπερασματικά, η αεριζόμενη κάψουλα είναι μία πολύ έγκυρη και αξιόπιστη μέθοδος αξιολόγησης του ρυθμού εφίδρωσης συγκριτικά με προηγούμενες μεθόδους. Η παρούσα διατριβή συνιστά τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος σε εργαστηριακές μελέτες, όπου αυτό είναι εφικτό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

American College of Sports, M., M. N. Sawka, L. M. Burke, E. R. Eichner, R. J. Maughan, S. J. Montain and N. S. Stachenfeld (2007). "American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement." Med Sci Sports Exerc **39**(2): 377-390.

Cox, G. R., E. M. Broad, M. D. Riley and L. M. Burke (2002). "Body mass changes and voluntary fluid intakes of elite level water polo players and swimmers." J Sci Med Sport **5**(3): 183-193.

Hardy, J. and G. Soderstrom (1938). "Heat Loss From the Nude Body and Peripheral Blood Flow at Temperatures of 22° C. to 35° C." Journal of nutrition **16**: 493-510.

Michael H. Stone, M. S., William A. Sands (2007). Principles and practice of resistance training.

Oppliger, R. A. and C. Bartok (2002). "Hydration testing of athletes." Sports Med **32**(15): 959-971.

Parsons, K. (2002). Human thermal environments.

Snellen, J. W. (1966). Mean body temperature and the control of thermal sweating, Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Szabo, G. (1962). "The number of eccrine sweat glands in human skin." Advances in Biology of the Skin: 1-5.