

**ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΙΑΤΡΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ - ΑΚΤΙΝΟΦΥΣΙΚΗ»**

Ιατρική Σχολή του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Τμήμα Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Τμήμα Ιατρικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Τμήμα Ιατρικής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου Κρήτης

***Διερεύνηση πρωτοκόλλου για την ανάλυση της σύστασης του ανθρώπινου σώματος με τη μέθοδο της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) και σύγκριση της με τη μέθοδο των δερματοπτυχών για τον προσδιορισμό του σωματικού λίπους***

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΖΑΦΕΙΡΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**Επιβλέπων: Καλέφ-Εζρά Τζων, Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Σχολή  
Επιστημών Υγείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**

**Συνεπιβλέπων: Κουρκουμέλης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική  
Σχολή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ**

**2019**

### **Τριμελής εξεταστική επιτροπή**

**Καλέφ-Εζρά Τζων**, Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας,  
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

**Κουρκουμέλης Νικόλαος**, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Σχολή  
Επιστημών Υγείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

**Αστρακάς Λουκάς**, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Φυσικής, Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών  
Υγείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

## Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τη φοιτήτρια Ζαφείρη Γεωργία στα πλαίσια του Διαπανεπιστημιακού- Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Ιατρική Φυσική- Ακτινοφυσική στο Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019, υπό την επίβλεψη του καθηγητή Ιατρικής Φυσικής του Ιατρικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων Τζων Καλέφ- Εζρά, με συνεπιβλέποντα τον Επίκουρο Καθηγητή Ιατρικής Φυσικής Νικόλαο Κουρκουμέλη.

Θα ήθελα λοιπόν να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου καθώς ήταν σημαντικός αρωγός και υποστηρικτής αυτής της προσπάθειας. Όλες του οι συμβουλές και το ενδιαφέρον υπήρξαν καθοριστικοί παράγοντες για την διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Εγκάρδιες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον συνεπιβλέποντα επίκουρο καθηγητή Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων Νικόλαο Κουρκουμέλη, για όλες τις συμβουλές, την καθοδήγηση αλλά και την προθυμία του να συνεργαστούμε για την διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Επίσης, οφείλω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου σε όλους τους εθελοντές που έλαβαν μέρος στις μετρήσεις καθώς χωρίς την συμμετοχή τους η εκπόνηση της παρούσας εργασίας δεν θα ήταν εφικτή. Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς των ανήλικων εθελοντών που έδωσαν την συγκατάθεση τους για την διεξαγωγή των μετρήσεων και τις Ευγενία Οικονόμου, Χρύσα Πετροκλίδου και Αγγελική Τόλη οι οποίες προσέφεραν την βοήθεια τους για τη διεξαγωγή των μετρήσεων στο χώρο του κολυμβητηρίου. Ακόμη, η συμβολή των προπονητών Δρόσου Απόστολου, Στέφου Γεώργιου, Κυριακίδη Κωνσταντίνου και Μπίγγου Ιουλίας ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Τους αποδίδω τις ευχαριστίες μου διότι με δέχθηκαν με ευγένεια κοντά τους και με καθοδήγησαν με ιδιαίτερη χαρά.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας για την χορηγία του μηχανήματος μέτρησης αλλά και την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους σε όλα μου τα βήματα.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	3
Περίληψη .....	7
Abstract .....	8
Θεωρητικό μέρος .....	9
Κεφάλαιο 1: Πρότυπα επίπεδα μελέτης της σύστασης σώματος .....	9
1.1 Μοντέλο δύο διαμερισμάτων .....	10
1.2 Μοντέλο τριών διαμερισμάτων .....	10
1.3 Μοντέλο τεσσάρων διαμερισμάτων .....	11
1.4 Επίπεδο του Σώματος .....	11
Κεφάλαιο 2: Μέθοδοι προσδιορισμού της σύστασης του σώματος .....	15
2.1 Η πυκνομετρία .....	15
2.1.1 Υποβρύχια ζύγιση .....	15
2.1.2 Αεροπυκνομετρία .....	16
2.2 DXA .....	17
2.3 Δερματοπτυχές .....	18
2.4 Αξονική τομογραφία .....	19
2.5 Μαγνητική τομογραφία .....	19
2.6 Ολόσωμη ακτινοβολία <sup>40</sup> K .....	20
2.7 Βιοηλεκτρική εμπέδηση ή αντίσταση .....	22
Κεφάλαιο 3: Η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης BIA .....	24
3.1 Απαραίτητη ονοματολογία για την κατανόηση της BIA .....	24
3.2 Η αρχή λειτουργίας της BIA .....	24
3.3 Τι μετρά η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) .....	29
3.4 Κατηγορίες βιοηλεκτρικής εμπέδησης .....	30
3.4.1. Βιοηλεκτρική εμπέδηση μονής συχνότητας .....	31
3.4.2 Βιοηλεκτρική εμπέδηση πολλαπλής συχνότητας .....	31
3.4.3 Διανυσματική Βιοηλεκτρική εμπέδηση .....	32
3.5 Τα ηλεκτρόδια .....	34
3.5.1 Υλικό και σχήμα ηλεκτροδίων .....	34
3.5.2 Το απλό ηλεκτρόδιο .....	35
3.5.3 Ζεύγος ηλεκτροδίων .....	35

3.6 Μετρητές της Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης .....	36
3.7 Μέθοδοι μέτρησης ολόσωμης βιοηλεκτρικής εμπέδησης .....	37
3.8 Το πρωτόκολλο μέτρησης.....	39
3.9 Πόσο ασφαλής είναι η μέθοδος ΒΙΑ.....	40
3.10 Ο ρόλος της ΒΙΑ στο κλινικό περιβάλλον .....	41
3.11 Οι περιορισμοί της τεχνικής ΒΙΑ .....	44
Κεφάλαιο 4: Παράγοντες επιρροής των μετρήσεων βιοηλεκτρικής εμπέδησης.....	46
4.1 Ανθρωπομετρικές μετρήσεις .....	46
4.2 Φύλο .....	46
4.3 Ηλικία .....	47
4.4 Εθνικότητα .....	48
4.5 Στάση σώματος και Χρόνος μέτρησης .....	49
4.6 Επαφή μελών του σώματος.....	51
4.7 Κατανάλωση φαγητού ή ροφημάτων.....	52
4.8 Πρόσφατη άσκηση.....	52
4.9 Ηλεκτρόδια και σφάλματα μέτρησης.....	53
4.10 Πρωτόκολλα μέτρησης και στάση σώματος .....	53
Κεφάλαιο 5: Συνιστώμενοι κρίσιμοι παράγοντες και εξισώσεις πρόβλεψης της σύνθεσης σώματος με την τεχνική ΒΙΑ.....	55
5.1 Συνιστώμενοι κρίσιμοι παράγοντες .....	55
5.2.1 Εξισώσεις πρόβλεψης της σύνθεσης σώματος με χρήση της τεχνικής ΒΙΑ .....	59
5.2.2 Μέθοδοι αναφοράς.....	67
Πειραματικό μέρος .....	69
Κεφάλαιο 6: Περιγραφή δείγματος, οργανολογία και στατιστική ανάλυση ευρημάτων.....	69
6.1 Περιγραφή δείγματος.....	69
6.2 Οργανολογία.....	70
6.2.2 Ανθρωπομετρικές μετρήσεις (ύψος, μάζα, περίμετρος, δερματοπτυχές).....	72
6.3 Στατιστική ανάλυση δείγματος.....	74
6.3.1 Στατιστικά προγράμματα και εργαλεία.....	74
6.3.2 Παρουσίαση και στατιστική ανάλυση ευρημάτων .....	75
6.4 Διερεύνηση του πρωτοκόλλου .....	77
6.4.1 Περιγραφή των διαδικασιών μέτρησης .....	78

6.4.2 Μελέτη κανονικότητας δείγματος.....	80
6.4.3 Έλεγχος δεδομένων .....	81
6.4.3.1 Έλεγχος Ανοηα .....	81
6.4.3.2 Μη Παραμετρικός έλεγχος δεδομένων.....	85
6.4.3.3 Παραμετρικός έλεγχος δεδομένων .....	89
6.5 Προσδιορισμός του ποσοστού λίπους μέσω των δερματοπτυχών .....	95
Κεφάλαιο 7: Προσδιορισμός εξίσωσης για τον υπολογισμό της άλιπης μάζας σώματος (FFM) .....	99
7.1 Επίλυση του προβλήματος της πολυσυγγραμμικότητας .....	99
7.2 Εξαγωγή εξισώσεων για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος σε παιδιά και ενήλικες .....	104
Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα.....	113
8.1 Διερεύνηση πρωτοκόλλου για την σύσταση του ανθρώπινου σώματος.....	113
8.2 Προσδιορισμός του σωματικού λίπους μέσω της μέτρησης των δερματοπτυχών .....	115
8.3 Εξίσωση προσδιορισμού της άλιπης μάζας σώματος (FFM).....	117
8.4 Μελλοντικές προοπτικές .....	119
Βιβλιογραφία .....	120
Παράρτημα .....	128

## Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε μελέτη του υπάρχοντος πρωτοκόλλου για τον προσδιορισμό της σύστασης του σώματος με χρήση της τεχνικής βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA). Το μετρητικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για το σύνολο των μετρήσεων ήταν το Bodystat 1500 MDD. Για την διερεύνηση του πρωτοκόλλου ελέγχθηκε κατά πόσο η στάση σώματος του ατόμου (καθιστό, ξαπλωμένο ή με κλειστό το δεξί του χέρι με ώστε το μπράτσο και ο πήχης να εφάπτονται), η κατάσταση του δέρματος (παρουσία ή απουσία υγρού) καθώς και η ενυδάτωση του οργανισμού τη στιγμή των μετρήσεων επιφέρει στατιστικά σημαντικές μεταβολές μεταξύ των αποτελεσμάτων. Επίσης έγινε προσδιορισμός του ποσοστού σωματικού λίπους μέσω των δερματοπτυχών γαστροκνημίας (γάμπας) και τρικέφαλου με στόχο να εξακριβωθεί κατά πόσο αυτές οι δύο μέθοδοι δίνουν ταυτόσημα αποτελέσματα. Τέλος, έγινε προσδιορισμός της εξίσωσης για τον υπολογισμό της άλυτης μάζας σώματος (FFM) τόσο για τους ενήλικες όσο και για τα παιδιά.

Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν από 16/10/2018 μέχρι 02/03/19. Η διεξαγωγή μετρήσεων της πρώτης ομάδας ατόμων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής της Ιατρικής σχολής του πανεπιστημίου Ιωαννίνων, της δεύτερης στον χώρο προπόνησης των αθλητών της Ακαδημίας κινεζικών παραδοσιακών τεχνών Ιωαννίνων και της τρίτης ομάδας στο Δημοτικό κολυμβητήριο Ιωαννίνων. Το εύρος ηλικιών κυμαίνεται από 6 ως 52 ετών.

Μετά το πέρας των μετρήσεων διαπιστώθηκε πως, η αλλαγή στην στάση του σώματος, η παρουσία νερού, φυσιολογικού ορού ή κρέμας στο δέρμα του ατόμου αλλά και η ενυδάτωση του οργανισμού επιφέρουν στατιστικά σημαντικές μεταβολές στο σύνολο των μεταβλητών που ελέγχθηκαν. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων από την ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης και του πάχους των δερματοπτυχών για τον προσδιορισμό του σωματικού λίπους, δεν παρουσιάζουν ταύτιση καθώς οι διαφορές στις μέσες τιμές παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές όπως προέκυψε από τον στατιστικό έλεγχο που διενεργήθηκε, αλλά και από τα διαγράμματα Bland-Altman που κατασκευάστηκαν.

Τελικά για τα παιδιά το ποσοστό σωματικού λίπους (%BF) με τη μέθοδο των δερματοπτυχών βρέθηκε να είναι ίσο με  $27.03 \pm 5.02$  ενώ με την μέθοδο BIA,  $\%BF = 22.21 \pm 6.92$ . Στην περίπτωση των παιδιών λοιπόν, οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν μια ποσοστιαία διαφορά της τάξης του 5% με τη μέθοδο των δερματοπτυχών να παρουσιάζει μια υπερεκτίμηση του ποσοστού λίπους σε σχέση με τη μέθοδο BIA. Για τους ενήλικες με τη μέθοδο των δερματοπτυχών το ποσοστό λίπους βρέθηκε ίσο με  $21.23 \pm 7.23$  ενώ με τη BIA,  $\%BF = 18.36 \pm 7.20$ . Η ποσοστιαία διαφορά στην περίπτωση των ενηλίκων είναι της τάξης του 3%, με τη μέθοδο των δερματοπτυχών να υπερεκτιμά το λίπος σε σχέση με τη BIA.

## Abstract

In this thesis, we studied several protocols were studied for the determination of body composition using the bioelectric impedance analysis (BIA). The BIA system used for all measurements was the Bodystat 1500 MDD. In order to assess the protocol, we examined whether the body's posture (sitting, lying down or closing his right arm in such a way that the arm and the forearm were touching), the condition of the skin (presence or absence of fluid) and hydration of the participant at the time of the measurements has a statistically significant impact on the experimental variation. The percentage of body fat (%BF) through the calf and triceps skinfolds was also calculated in order to ascertain whether these two methods give comparable results. Finally, a novel equation for calculating fat free mass (FFM) was determined for both adults and children.

Measurements were carried out from 16/10/2018 to 02/03/19 in three population groups. The first group consisted of University students, the second of athletes of the Chinese Traditional martial Arts Academy of Ioannina and the third of the teenagers swimming team of PAS Giannena at the Municipal Swimming Pool of Ioannina. The age range varied from 6 to 52 years.

Results showed that the change in body posture, the presence of water, saline or body cream on the skin of the individual, and the body's hydration, yielded statistically significant changes. Comparison with thickness of skinfolds for the determination of body fat yielded inconsistent results for the two methods as was evident from the corresponding Bland-Altman plots.

Finally, the percentage of body fat (%BF) for children as measured by the skinfold method was found to be  $27.03 \pm 5.02$  while with the BIA method,  $\%BF = 22.21 \pm 6.92$ . The two methods showed a difference of 5%. As far as adults are concerned, from the skinfold method the fat percentage was found to be  $21.23 \pm 7.23$  while with BIA,  $\%BF = 18.36 \pm 7.20$ . The percentage difference in the case of adults is 3%. In both cases the skinfold method overestimates the fat percentage (%BF) as compared to the BIA method.

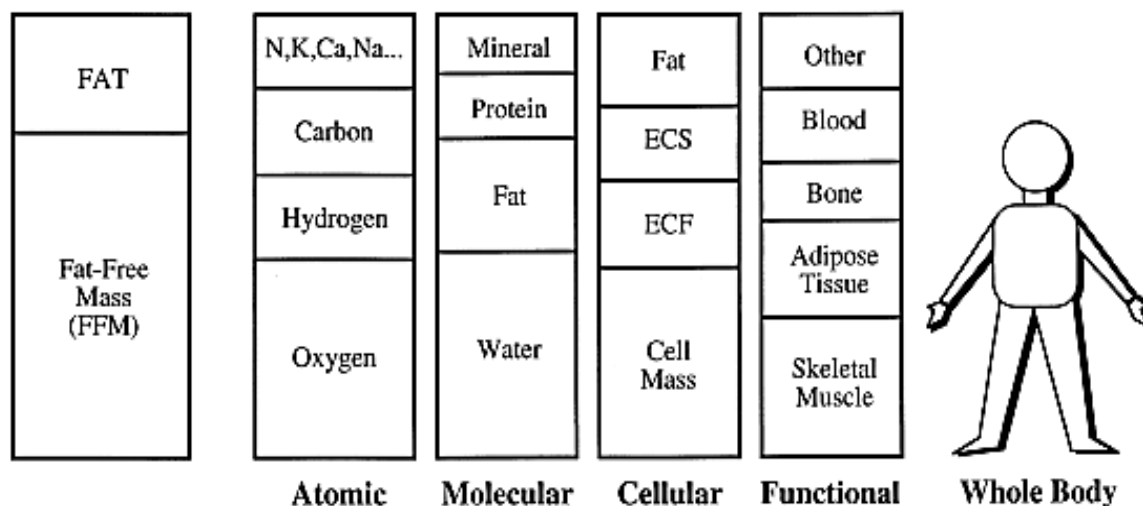


## Θεωρητικό μέρος

# Κεφάλαιο 1: Πρότυπα επίπεδα μελέτης της σύστασης σώματος

Η σύσταση σώματος μπορεί να μελετηθεί χρησιμοποιώντας πέντε επίπεδα μελέτης. Τα επίπεδα αυτά είναι το ατομικό επίπεδο, το μοριακό επίπεδο, το κυτταρικό επίπεδο, το επίπεδο ιστών και το επίπεδο του σώματος ως σύνολο (1). Το κάθε επίπεδο μελέτης είναι αυτοδύναμο και εντελώς διαφορετικό από τα άλλα, επειδή τα τμήματα που το αποτελούν είναι τα άτομα (ατομικό επίπεδο), τα μόρια (μοριακό επίπεδο), τα κύτταρα (κυτταρικό επίπεδο), οι ιστοί (επίπεδο ιστών) και τα μέρη του σώματος (επίπεδο σώματος). Ωστόσο, υπάρχει συσχέτιση, τόσο μεταξύ των διαφόρων επιπέδων, όσο και μεταξύ των τμημάτων του καθενός. Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζονται τα μοντέλα που απαντώνται συχνότερα στη βιβλιογραφία. Σε κάθε περίπτωση, το άθροισμα όλων των συστατικών ισοδυναμεί με την συνολική μάζα του σώματος.

### Basic Model 2-Compartment



Εικόνα 1.1: Τα γνωστότερα μοντέλα μελέτης της σύστασης σώματος

## 1.1 Μοντέλο δύο διαμερισμάτων

Ορισμένες από τις πρώτες πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση του ανθρώπινου σώματος βασίστηκαν σε χημικές αναλύσεις συγκεκριμένων οργάνων και περιστασιακά σε ολόκληρο το σώμα. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή του κλασικού μοντέλου των δύο διαμερισμάτων (2-C) της σωματικής σύνθεσης, επιταχύνθηκε τα τελευταία χρόνια, λόγω της συσχέτισης του περιττού σωματικού λίπους με αυξημένο κίνδυνο καρδιαγγειακών παθήσεων. Στο βασικό μοντέλο 2-C, το σώμα χωρίζεται σε δύο μέρη. Το ένα αποτελείται από σωματικό λίπος και όλοι οι υπόλοιποι ιστοί συγκεντρώνονται μαζί στο μέρος που είναι γνωστό ως μάζα χωρίς λιπαρά (FFM). Η άμεση μέτρηση της σωματικής μάζας λίπους δεν ήταν ποτέ εύκολη και παραμένει μια σημαντική πρόκληση για τις περισσότερες τεχνικές σύνθεσης σώματος. Ωστόσο, αν κάποιος μπορεί να καθορίσει το συνολικό FFM, τότε το σωματικό λίπος μπορεί να οριστεί έμμεσα ως η διαφορά μεταξύ σωματικού βάρους και FFM. Το μοντέλο 2-C, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί στην έρευνα για την σύνθεση σώματος εδώ και περισσότερα από 50 χρόνια, συνεχίζει να διαδραματίζει ζωτικό ρόλο, ιδιαίτερα στην αξιολόγηση νέων τεχνολογιών που επικεντρώνονται στην αξιολόγηση σωματικού λίπους.

Το παλαιότερο και ίσως το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο 2-C, βασίζεται στη μέτρηση της συνολικής σωματικής πυκνότητας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η υδροπυκνομετρία ή η υποβρύχια ζύγιση. Επίσης, ο προσδιορισμός της συνολικής ποσότητας  $^{40}\text{K}$  χρησιμοποιεί τις αρχές του μοντέλου των δύο διαμερισμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, για την αξιολόγηση του σωματικού λίπους μετράται η περιεκτικότητα της FFM σε κάλιο (2).

## 1.2 Μοντέλο τριών διαμερισμάτων

Για να μειωθούν οι περιορισμοί που αντιμετωπίστηκαν στα μοντέλα 2-C, προτάθηκε το μοντέλο των τριών διαμερισμάτων (3-C). Σε αυτό το μοντέλο, το FFM χωρίζεται σε δύο μέρη: την περιεκτικότητά του σε νερό και τα υπόλοιπα στερεά (κυρίως πρωτεΐνες και μέταλλα). Στο μοντέλο 3-C, χρησιμοποιείται η πυκνότητα του νερού, του λίπους και των σωματικών στερεών. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο επέφεραν βελτίωση σε σχέση με το βασικό μοντέλο 2-C για υγιείς ενήλικες και παιδιά. Ωστόσο, για ασθενείς με σημαντικά μειωμένη μάζα πρωτεΐνης σώματος και / ή οστική μάζα, οι εκτιμώμενες τιμές της πυκνότητας για το διαμέρισμα στερεών θα ήταν λανθασμένες, έτσι η τελική εκτίμηση της μάζας σωματικού λίπους ήταν επίσης ανακριβής σε αυτήν την περίπτωση (2).

### 1.3 Μοντέλο τεσσάρων διαμερισμάτων

Για να επεκταθεί το βασικό μοντέλο 2-C σε μοντέλο τεσσάρων διαμερισμάτων, απαιτείται μια ακριβή μέτρηση των πρωτεϊνών και των ανόργανων στοιχείων, πέραν του συνολικού νερού του σώματος. Για αυτό το μοντέλο τεσσάρων διαμερισμάτων (4-C), οι πυκνότητες της πρωτεΐνης σώματος και των ανόργανων στοιχείων των οστών μπορούν να θεωρηθούν 1.34 και 3.075 kg / l αντίστοιχα (3). Ωστόσο, για να ληφθεί ένα μέτρο της μάζας καθενός από αυτά τα διαμερίσματα σώματος, θα χρειαστούν δύο πρόσθετες μετρήσεις, η ανάλυση ενεργοποίησης νετρονίων για τη σωματική πρωτεΐνη και η απορρόφηση με ακτίνες X διπλής ενέργειας (DXA) για την περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα των οστών.

Για το μοντέλο 4-C, η μάζα πρωτεΐνης θεωρείται ανάλογη προς την οστική μάζα, ανεξάρτητα από την ηλικία και το φύλο. Αν κάποιος ενδιαφέρεται για την παρακολούθηση των βραχυπρόθεσμων αλλαγών στη λιπαρή μάζα, η προσέγγιση της μάζας ανόργανων στοιχείων είναι αποδεκτή επειδή αυτή η συνιστώσα του μοντέλου 4-C δεν θα αλλάξει σημαντικά για το άτομο ακόμη και σε σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους.

Ένα εναλλακτικό μοντέλο 4-C, το οποίο δεν απαιτεί τη μέτρηση της υποβρύχιας ζύγισης, έχει επίσης αναπτυχθεί. Σε αυτό το μοντέλο, το FFM του σώματος χωρίζεται σε τρία βασικά τμήματα: μάζα κυττάρων σώματος (BCM), εξωκυττάριο νερό (ECW) και εξωκυττάρια στερεά (ECS). Όπως ορίζεται από τον Moore και τους συνεργάτες του (4), η BCM μπορεί να βασίζεται στη μέτρηση του καλίου ολόκληρου του σώματος. Για τον προσδιορισμό του ECW, αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι αραιώσεως με χρήση βρωμιούχων ή θεικών ενώσεων ως ιχνηθέτη (5). Το ECS μπορεί να οριστεί με βάση τη συνολική περιεκτικότητα σε ασβέστιο ή σε ανόργανα στοιχεία των οστών (6). Η μάζα μη λίπους ορίζεται στη συνέχεια ως άθροισμα των BMC, ECW και ECS και η συνολική μάζα σωματικού λίπους ως σωματικό βάρος μείον FFM. Ένας από τους περιορισμούς με αυτό το μοντέλο 3-C για FFM είναι ότι τα σφάλματα μέτρησης είναι σωρευτικά και μεταφέρονται απευθείας σε μονάδες μάζας στην τελική εκτίμηση για τη μάζα σωματικού λίπους (2).

### 1.4 Επίπεδο του Σώματος

Αυτό το επίπεδο μελέτης της σύστασης του σώματος εξετάζει τον άνθρωπο ως σύνολο συνεργαζόμενων οργανικών συστημάτων. Εδώ, επομένως, καταγράφονται παράμετροι, όπως το ύψος, η μάζα, καθώς και όλα σχεδόν τα εξωτερικά ποσοτικά χαρακτηριστικά του σώματος. Οι πιο σημαντικές από τις παραμέτρους αυτές είναι:

- Η μάζα του σώματος, ένας από τους σημαντικούς σωματικούς δείκτες. Χρησιμοποιείται στον κλινικό έλεγχο του ρυθμού ανάπτυξης, της παχυσαρκίας και του υποσιτισμού. Σε συνδυασμό με το ύψος, δίνει τον γνωστό δείκτη BMI.
- Το ύψος του σώματος (Ht), που είναι δείκτης του μήκους του σκελετού και του μεγέθους του σώματος γενικότερα.
- Ο δείκτης μάζας σώματος (BMI), ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον ορισμό της παχυσαρκίας, αλλά και του υποσιτισμού.
- Ο όγκος του σώματος (BV), που αποτελεί έναν πολύ σημαντικό δείκτη μεγέθους και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ολικής πυκνότητας του σώματος.
- Τα πάχη των δερματοπτυχών σε χαρακτηριστικές ανατομικές θέσεις, τα οποία αντιστοιχούν στο στρώμα του υποδόριου λιπώδη ιστού και ως εκ τούτου, παρέχουν ενδείξεις για το βαθμό της παχυσαρκίας, καθώς και της κατανομής του υποδόριου ιστού. Επίσης, μέσω των δερματοπτυχών, μπορεί να εκτιμηθεί το σωματικό λίπος.
- Η περίμετρος ορισμένων τμημάτων του σώματος, όπως της μέσης, του ισχίου, του μπράτσου, του λαιμού κ.ά. Τα μεγέθη αυτά χρησιμοποιούνται συχνά ως προγνωστικοί δείκτες για διάφορες ασθένειες.
- Το εύρος (πλάτος) των διάφορων τμημάτων του σκελετού, το οποίο αποτελεί ένα μέτρο της σκελετικής μάζας του σώματος και της σωματικής διάπλασης του ατόμου. Τα ανατομικά σημεία που συνήθως μετρώνται είναι ο αγκώνας, το γόνατο, ο ώμος, ο καρπός του χεριού, τα λαγόνια οστά, ο αστράγαλος κ.ά.
- Τα μήκη διάφορων τμημάτων του σκελετού, όπως π.χ. τα μήκη αγκώνα-ώμου, αγκώνα-καρπού, του μηρού κ.ά
- Το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος που συχνά χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του βασικού μεταβολισμού του σώματος.

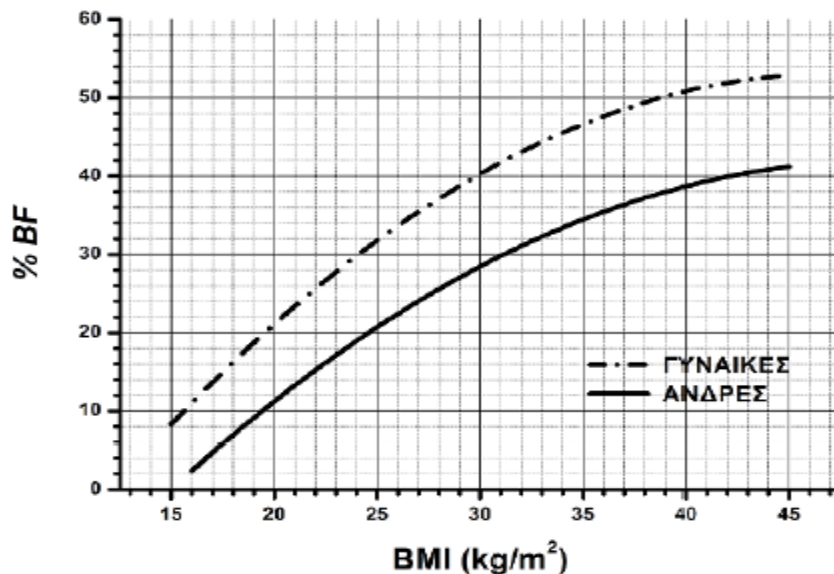
Ο δείκτης BMI προκύπτει από τον γνωστό συνδυασμό της μάζας και του αναστήματος:

$$BMI = \frac{BM}{Ht^2} \quad (1.1)$$

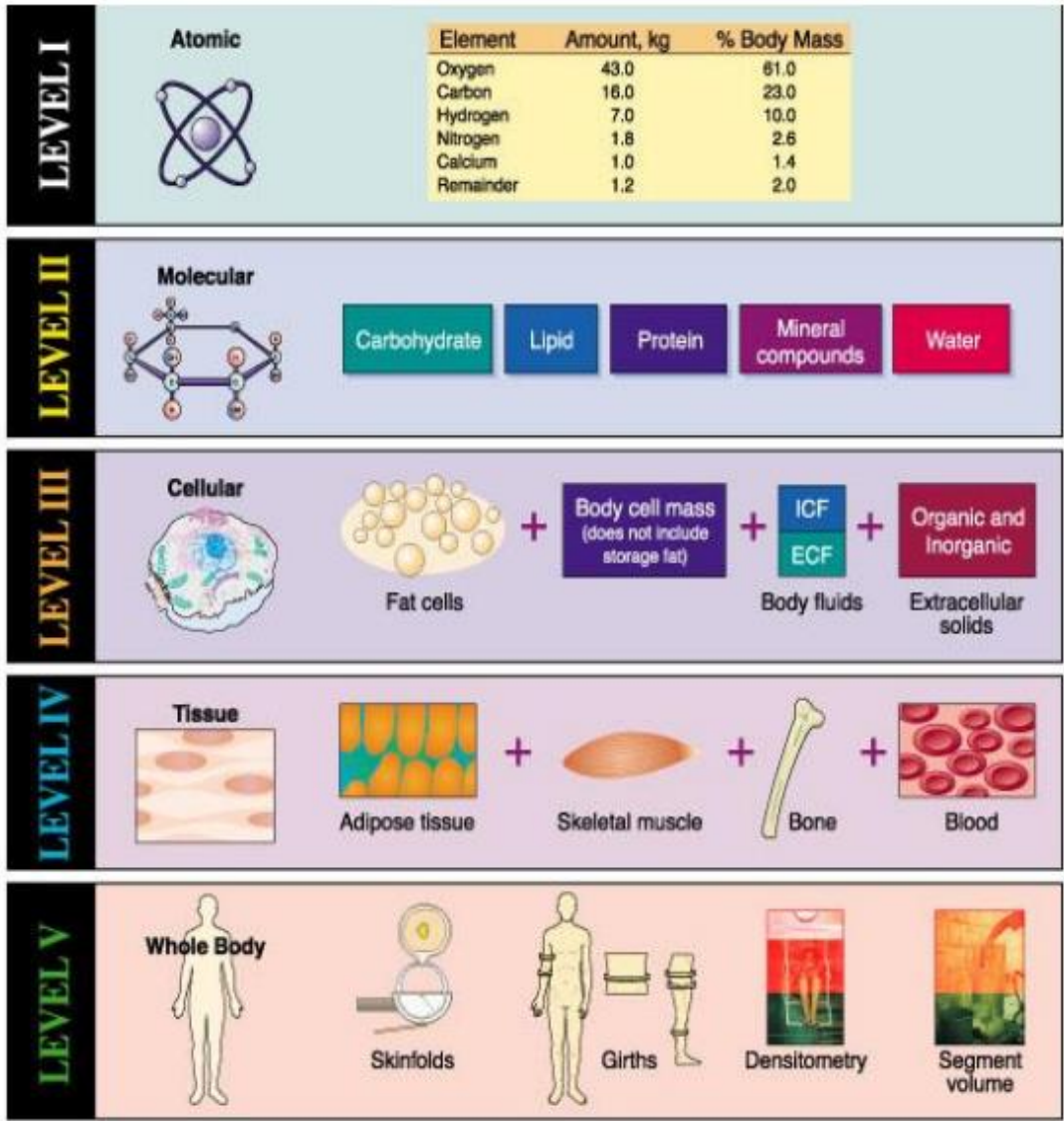
όπου Ht είναι το ύψος του ανθρώπου σε μέτρα (m).

Αρκετές φορές ο BMI σχετίζεται με το επί τοις εκατό λίπος του σώματος (%BF). Η σχέση μεταξύ αυτών των δύο ποσοτήτων είναι μη γραμμική, τόσο για τους άνδρες, όσο και για τις γυναίκες (βλέπε Εικόνα 1.2) και προκύπτει από προσαρμογή της καμπύλης σε πειραματικά δεδομένα με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Με άλλα λόγια, οι δυο καμπύλες της Εικόνας 1.2 αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο της σχέσης %BF – BMI σε ένα δείγμα 665 ανδρών και γυναικών 17-65 ετών. Ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτής της σχέσης είναι ότι για κάθε τιμή BMI, το %BF στις γυναίκες είναι, κατά μέσο όρο, μεγαλύτερο από τους άνδρες κατά 9-12% κατ' απόλυτη τιμή, πράγμα που σχετίζεται με τη διαφορετική φυσιολογία του σώματος ανδρών-

γυναικών. Ακόμη και μέσα στο ίδιο υποσύνολο (άνδρες ή γυναίκες), παρατηρείται μεγάλη διακύμανση του %BF για κάθε τιμή BMI. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.2, οι άνδρες με BMI=25 παρουσιάζουν μια διακύμανση στο %BF από 11% έως 24%, δηλαδή περίπου από τα κατώτερα έως τα ανώτερα φυσιολογικά όρια. Στις γυναίκες εμφανίζεται μια μεγαλύτερη διακύμανση του %BF απ' ό,τι στους άνδρες. Για παράδειγμα, λαμβάνουμε υπόψη την τιμή BMI=24, η οποία βρίσκεται μέσα στο φυσιολογικό εύρος 18.5-25 kg/m<sup>2</sup>. Γι' αυτή την τιμή του BMI η παρατηρούμενη διακύμανση στο %BF των γυναικών είναι από 20% έως 44%, δηλαδή από το κατώτερο επιτρεπόμενο όριο, έως και αρκετά πάνω από το ανώτερο επιτρεπόμενο όριο τού 35% ή 38%. Η εξήγηση που μπορεί να δοθεί γι' αυτό, είναι η μεγάλη διακύμανση στη μυϊκή μάζα και ως εκ τούτου στο %BF από άνθρωπο σε άνθρωπο, καθώς και μεταξύ διαφορετικών φυλετικών / εθνικών ομάδων (7). Από τα παραπάνω μπορούμε να αντιληφθούμε τη σημασία της μέτρησης του %BF για την αξιολόγηση της θρεπτικής, αλλά και της φυσικής κατάστασης καθενός ανθρώπου χωριστά .



Εικόνα 1.2: Διάγραμμα που απεικονίζει τη σχέση μεταξύ BMI και %BF για γυναίκες και άνδρες.



Εικόνα 1.3: Τα πέντε επίπεδα ανάλυσης της σύστασης του ανθρώπινου σώματος (8)

## Κεφάλαιο 2: Μέθοδοι προσδιορισμού της σύστασης του σώματος

Οι μέθοδοι προσδιορισμού της σύστασης του σώματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Τις άμεσες και
- Τις έμμεσες

Στις άμεσες εντάσσεται η χημική διάλυση (διάλυση του σώματος σε λιπώδη και άλιπα συστατικά) και ο ανατομικός διαχωρισμός (χειρουργικός διαχωρισμός λιπώδους και άλιπης μάζας) ενώ στις έμμεσες συγκαταλέγονται η ανθρωπομετρία (βάρος, ύψος, BMI, περιφέρειες), οι δερματοπτυχές, η υδροστατική ζύγιση, η χρήση μηχανημάτων (DXA, MRI, Ultrasound, CT) αλλά και η μέθοδος της βιοηλεκτρικής αντίστασης με την οποία θα ασχοληθούμε κατά κόρων στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

### 2.1 Η πυκνομετρία

#### 2.1.1 Υποβρύχια ζύγιση

Η μέτρηση της πυκνότητας του σώματος ( $D_b$ ) αναφέρεται συχνά ως μέθοδος αναφοράς (gold standard method) για μετρήσεις σωματικής σύνθεσης. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τον προσδιορισμό της πυκνότητας του σώματος, είναι η υποβρύχια ζύγιση, στην οποία απαιτείται το άτομο να είναι εντελώς βυθισμένο στο νερό. Ο όγκος του νερού που μετατοπίζεται σε συνδυασμό με το εργαστηριακό βάρος του συμμετέχοντα, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της πυκνότητας ( $D_b$ ) ολόκληρου του σώματος.

Η μέθοδος βασίζεται στη διαφορετική πυκνότητα της λιπώδους και της άλιπης μάζας σώματος. Εάν είναι γνωστά η ολική σωματική πυκνότητα, οι πυκνότητες της λιπώδους και της ελεύθερης λίπους μάζας, μπορεί να προκύψει μια εξίσωση η οποία μετατρέπει την ολική σωματική πυκνότητα σε ποσοστό σωματικού λίπους με βάση τις αρχές του Αρχιμήδη. Γενικά, τουλάχιστον στους ενήλικες, οι πυκνότητες της λιπώδους και της FFM είναι περίπου 0.9g/mL και 1.1g/mL, αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, η πυκνότητα της FFM είναι γνωστό ότι επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ηλικία, το φύλο και η εθνικότητα (9), ενώ ελάχιστες πληροφορίες υπάρχουν για τα παιδιά (10).

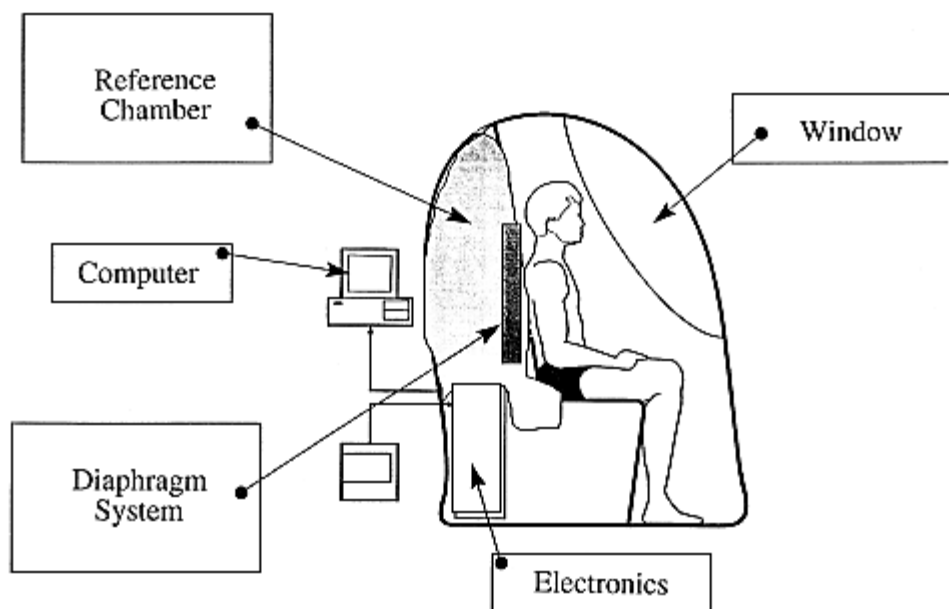
Περιορισμοί για την εφαρμογή της πυκνομετρίας σε παιδιατρικό πληθυσμό περιλαμβάνουν πρακτικά και θεωρητικά προβλήματα. Η μέθοδος απαιτεί ανέβασμα σε μια μεγάλη δεξαμενή νερού, άδειασμα των πνευμόνων με μέγιστη εκπνοή και ακινησία κάτω από το νερό για μερικά δευτερόλεπτα. Έτσι, από πρακτική άποψη, το τεστ αντοχής είναι εξαιρετικά δύσκολο για τα μικρά παιδιά και αδύνατο για τα βρέφη.

### **2.1.2 Αεροπυκνομετρία**

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνική της υποβρύχιας ζύγισης έχει αρχίσει να αντικαθίσταται από την αεροπυκνομετρία, όπου το άτομο βυθίζεται όχι σε νερό αλλά σε κλειστό θάλαμο. Το σύστημα αποτελείται από δύο θαλάμους: στον έναν εισέρχεται το άτομο προς μέτρηση και ο άλλος θάλαμος χρησιμοποιείται ως όγκος αναφοράς. Αφού το άτομο εισέλθει στο θάλαμο, η πόρτα κλείνει και σφραγίζεται, η πίεση αυξάνεται ελαφρά και ένα διάφραγμα, που χωρίζει τους δύο θαλάμους, ταλαντώνεται για να αλλάξει ελαφρώς τους όγκους. Η κλασική σχέση πίεσης έναντι όγκου, σε σταθερή θερμοκρασία, χρησιμοποιείται για την εύρεση του όγκου αέρα στον θάλαμο όπου βρίσκεται ο εξεταζόμενος. Ένα σαφές πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής σε σύγκριση με την υποβρύχια ζύγιση είναι ότι το άτομο δεν πρέπει να βυθιστεί στο νερό. Η αεροπυκνομετρία είναι πιο εύκολο να εφαρμοστεί στον παιδιατρικό πληθυσμό. Αυτή η συσκευή που ονομάζεται Bod Pod, έχει δημιουργηθεί για την μέτρηση του όγκου του σώματος και είναι ευκολότερη, γρηγορότερη και πιο πρακτική από την υδροστατική ζύγιση (10).

Από θεωρητική σκοπιά, οι περιορισμοί της επιτυχούς εφαρμογής της πυκνομετρίας απαιτούν πρόσθετες γνώσεις της πυκνότητας της λιπώδους και της FFM σε παιδιά διαφορετικής ηλικίας, φύλου και εθνικότητας. Μια πρότερη έρευνα προτείνει ότι από την γέννηση μέχρι την ηλικία των 22 ετών, η πυκνότητα της FFM αυξάνεται από 1.063 σε 1.102g/mL στα αγόρια και από 1.064 σε 1.096g/mL στα κορίτσια. Έτσι, όπως περιγράφεται από τον Lohman (9), η εφαρμογή της πυκνομετρίας και η ανάπτυξη εξισώσεων με βάση την ηλικία, το φύλο και την εθνικότητα απαιτούν γνώση της πυκνότητας της FFM για την κάθε υποομάδα που ερευνάται.





Εικόνα 2.1: Η συσκευή μέτρησης Bod Pod

## 2.2 DXA

Όταν μια πηγή ακτίνων Χ ή φωτονίων τοποθετείται στη μία πλευρά ενός αντικειμένου, η ένταση της δέσμης στην αντίθετη πλευρά του αντικειμένου σχετίζεται με το πάχος, την πυκνότητα και τη χημική σύστασή του. Αυτό το φαινόμενο εξασθένησης, εξαρτάται επίσης από την ενέργεια του προσπίπτοντος φωτονίου και κυριαρχείται από δύο αρχές σε χαμηλές ενέργειες: το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και τη σκέδαση Compton. Η απόκριση εξασθένησης είναι μη γραμμική, έτσι ώστε για ένα ομοιογενές υλικό, μπορεί να περιγραφεί από την εκθετική εξίσωση

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu T} \quad (2.1)$$

όπου  $I$  είναι η ένταση της εξερχόμενης δέσμης,  $I_0$  είναι η ένταση της προσπίπτουσας δέσμης,  $T$  είναι το πάχος απορροφητή και  $\mu$  είναι ο γραμμικός συντελεστής εξασθένησης.

Η εξασθένηση μέσω οστού, άπαχου ιστού και λίπους είναι διαφορετική, αντικατοπτρίζοντας τις διαφορές τους σε πυκνότητες και χημική σύνθεση. Με την αύξηση της ενέργειας φωτονίων, οι διαφορές στις ιδιότητες εξασθένησης για αυτούς τους ιστούς μειώνονται. Έχει αποδειχθεί

ότι, εάν το φωτόνιο χαμηλής ενέργειας (L) είναι 40 keV, ενώ το φωτόνιο υψηλής ενέργειας (H) βρίσκεται στην περιοχή των 70 -100 keV, η μάζα του οστού (B) και του μαλακού ιστού (ST) κατά μήκος της διαδρομής δέσμης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$M_{ST} = (\mu_{BL} \cdot LR_H - \mu_{BH} \cdot LR_L) / (\mu_{BH} \cdot \mu_{STL} - \mu_{STH} \cdot \mu_{BL}) \quad (2.2)$$

$$M_B = (\mu_{STL} \cdot LR_H - \mu_{STH} \cdot LR_L) / (\mu_{STH} \cdot \mu_{BL} - \mu_{BH} \cdot \mu_{BL}) \quad (2.3)$$

όπου  $LR_H$  είναι  $\ln \frac{I}{I_0}$  στην υψηλότερη ενέργεια και  $LR_L$  είναι ο ίδιος λόγος στη χαμηλότερη ενέργεια. Συνεπώς, εάν η σχετική ένταση της μεταδιδόμενης δέσμης μπορεί να μετρηθεί και οι συντελεστές εξασθένησης της μάζας είναι ακριβείς, μπορούν να υπολογιστούν οι εκτιμήσεις της οστικής μάζας και της μάζας των μαλακών ιστών. Αυτό το μοντέλο 2-C χρησιμοποιείται επίσης όταν η δέσμη διέρχεται από περιοχές του σώματος χωρίς κόκαλο.

Όσον αφορά τη μέτρηση των οστικών αλάτων, η πρωταρχική εφαρμογή του DXA ήταν η λήψη μετρήσεων της πυκνότητας οστού (BMD) στην περιοχή της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, του μηριαίου και το αντιβραχίου οστού. Η τιμή BMD ορίζεται ως ο λόγος του BMC προς την περιοχή των οστών (BA), όπου BA είναι η συνολική περιοχή στην επίπεδη εικόνα σάρωσης για όλα τα εικονοστοιχεία που ταξινομούνται ως περιέχοντα οστά. Τα αποτελέσματα μιας σάρωσης ολόκληρου του σώματος DXA, παρέχουν τιμές για ένα μοντέλο 3-C. Η απορρόφηση με ακτίνες X διπλής ενέργειας, παρέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με τη γενική ανατομική κατανομή του οστού μέσα στο σώμα. Οι εκτιμήσεις που προέρχονται από το DXA για το FM έχουν αποδειχθεί ότι συμφωνούν με τις τιμές που λαμβάνονται χρησιμοποιώντας μοντέλα 2-C (11). Τα πλεονεκτήματα του DXA είναι, ο σχετικά γρήγορος χρόνος σάρωσης και η χαμηλή δόση ακτινοβολίας 1-10  $\mu$ Sv, η οποία είναι συγκρίσιμη με τη μέση φυσική ημερήσια ακτινοβολία των 7  $\mu$ Sv, στην οποία εκτίθεται ένας μέσος υγιής άνθρωπος.

## 2.3 Δερματοπτυχές

Η μέτρηση των δερματικών πτυχών είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος, έμμεσης εκτίμησης, της λιπώδους μάζας και του ποσοστού λίπους σώματος και βασίζεται στη μέτρηση του πάχους του υποδόριου λίπους στο σώμα. Οι μετρήσεις στα διάφορα ανατομικά σημεία του σώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί η κατανομή του υποδόριου λίπους στο σώμα. Η τεχνική περιλαμβάνει τον διαχωρισμό από τον υποκείμενο μυ και τη μέτρηση του πάχους μιας διπλής πτυχής του υποδόριου λίπους και του δέρματος στο σημείο της δερματικής πτυχής. Η μέτρηση των δερματικών πτυχών πραγματοποιείται με ειδικά εργαλεία, τα δερματοπτυχόμετρα. Οι δερματικές πτυχές που μετρούνται είναι οι ακόλουθες: η δερματική πτυχή τρικέφαλου, η δερματική πτυχή δικέφαλου, η υπο-ωμοπλατιαία δερματική πτυχή, η υπερ-λαγόνια δερματική πτυχή, η κοιλιακή δερματική πτυχή, η θωρακική δερματική

πτυχή, η μηριαία δερματική πτυχή και τέλος η γαστροκνημιαία δερματική πτυχή. Τα αποτελέσματα των διαφόρων μετρήσεων, μπορούν να προστεθούν και το άθροισμα τους να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη των σχετικών επιπέδων ολικού λίπους ή να τοποθετηθούν σε διάφορες εξισώσεις παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της πυκνότητας και τον υπολογισμό του ποσοστού του σωματικού λίπους (12).

## 2.4 Αξονική τομογραφία

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί δέσμη ακτίνων Χ, η οποία διέρχεται από το σώμα ενώ μια σειρά ανιχνευτών τοποθετείται στην αντίθετη πλευρά του εξεταζόμενου για να ανιχνεύσει τη μεταδιδόμενη ακτινοβολία. Η πηγή ακτίνων Χ και η διάταξη των ανιχνευτών, περιστρέφονται ως ενιαία μονάδα γύρω από το άτομο καλύπτοντας ένα πλήρες τόξο 360°. Σε κάθε μοίρα περιστροφής, η μεταδιδόμενη ένταση καταγράφεται για κάθε ανιχνευτή, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τις εσωτερικές δομές κατά μήκος αυτής της διαδρομής της δέσμης. Έχουν επινοηθεί πολλοί αλγόριθμοι ανακατασκευής για την επεξεργασία των αθροιστικών δεδομένων, με στόχο την παραγωγή μιας εικόνας εγκάρσιας τομής της περιοχής σώματος που σαρώθηκε (13). Αυτή η βασική ανατομική εικόνα είναι παρόμοια με αυτή που λαμβάνεται χρησιμοποιώντας τη μαγνητική τομογραφία, εκτός από το ότι περιέχει επιπλέον πληροφορίες για την πραγματική πυκνότητα του ιστού σε κάθε εικονοστοιχείο. Αυτές οι πληροφορίες, σε συνδυασμό με την ανατομική θέση του εικονοστοιχείου μέσα στην εικόνα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον διαχωρισμό σε λιπώδη και μυϊκό ιστό, σπλαχνικό ιστό ή οστά.

Οι εικόνες CT μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να διαχωρίσουν τη συνολική μάζα λιπώδους ιστού στα υποδόρια και σπλαχνικά συστατικά της, ή τους άλιπους ιστούς σε σκελετικούς μύες και σπλαχνική ή οργανική μάζα. Ομοίως, τα οστά μπορούν να αναγνωριστούν ως φλοιώδη ή δοκιδωτά με βάση την πυκνότητα. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι, το CT παρέχει έναν ακριβέστερο προσδιορισμό του σπλαχνικού λιπώδους ιστού από ότι η MRI και ότι οι χρόνοι σάρωσης για CT είναι μικρότεροι από τους MRI. Δυστυχώς, το ένα σημαντικό μειονέκτημα με το CT είναι η δόση ακτινοβολίας που απαιτείται ανά φέτα για απεικόνιση (2). Τυπικές ενεργές δόσεις από τις εξετάσεις CT είναι 2 mSv για CT εγκεφάλου, 3 mSv για CT αυχενικής μοίρας σπονδυλικής στήλης, 8 mSv για CT θώρακα ενώ 10 mSv για CT κοιλίας. Δόσεις τρεις τάξεις μεγαλύτερες από την ενεργή δόση που δέχεται το άτομο κατά την εξέταση DXA.

## 2.5 Μαγνητική τομογραφία

Τα άτομα και τα μόρια στο ανθρώπινο σώμα βρίσκονται σε τυχαίες κατευθύνσεις λόγω του ασθενούς μαγνητικού πεδίου της γης. Ωστόσο, όταν το σώμα τοποθετείται σε ισχυρό

μαγνητικό πεδίο, ορισμένοι πυρήνες και συγκεκριμένα τα πρωτόνια υδρογόνου, θα επιχειρήσουν να ευθυγραμμιστούν με ή έναντι του μαγνητικού πεδίου. Άλλα άτομα που βρίσκονται στο ανθρώπινο σώμα, ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{31}\text{P}$ , και  $^{39}\text{K}$ ), εμφανίζουν επίσης αυτές τις ιδιότητες, αλλά σε μια χαμηλότερη ανταπόκριση από ότι για τα άτομα υδρογόνου. Παρόλο που ένα μικρό ποσοστό των πυρήνων θα ευθυγραμμιστεί, ο αριθμός είναι επαρκής για να ανιχνεύσει μια αλλαγή στον προσανατολισμό τους όταν αφαιρεθεί ή μεταβληθεί το μαγνητικό πεδίο. Η συχνότητα με την οποία οι πυρήνες περιστρέφονται (σε σχέση με την κατεύθυνση του σταθερού μαγνητικού πεδίου) ονομάζεται συχνότητα Larmor. Όταν παλμός (RF), εφαρμοστεί στους πυρήνες που περιστρέφονται με συχνότητα Larmor, οι πυρήνες απορροφούν αυτήν την ενέργεια και αλλάζουν διεύθυνση. Όταν ο παλμός RF απενεργοποιηθεί, οι πυρήνες θα χάσουν την ευθυγράμμιση τους και θα απελευθερώσουν την αποθηκευμένη ενέργεια. Η ένταση αυτού του σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του αριθμού πυρήνων υδρογόνου του ιστού. Αυτή η διαδικασία, μπορεί να επαναληφθεί σε κάθε θέση κατά μήκος του σώματος έως ότου χαρτογραφηθεί ολόκληρο το σώμα και μπορούν να δημιουργηθούν εικόνες MRI εγκάρσιας τομής σε κάθε φέτα. Η απεικόνιση με μαγνητικό συντονισμό επιτυγχάνεται επειδή το υδρογόνο, που βρίσκεται κυρίως στο νερό, είναι ένα από τα πιο άφθονα μη δεσμευμένα στοιχεία του σώματος. Για άλλα στοιχεία, οι συγκεντρώσεις τους στο σώμα είναι χαμηλότερες και η συχνότητα Larmor αλλάζει.

Εάν οι πυκνότητες υδρογόνου, του λιπώδη και του άπαχου ιστού ήταν σημαντικά διαφορετικές, τότε θα ήταν δυνατό να αναπτυχθούν εικόνες με βάση μόνο τον αριθμό των πυρήνων τους. Αυτό όμως δεν ισχύει. Έτσι, για να ενισχυθεί η αντίθεση μεταξύ του λιπώδη και του άπαχου ιστού, χρησιμοποιείται ένα δεύτερο χαρακτηριστικό των πυρήνων, που ονομάζεται χρόνος χαλάρωσης (T1). Αυτός είναι ο χρόνος που απαιτείται για τους πυρήνες να απελευθερώσουν την ενέργεια που προκαλείται από τον RF παλμό και να επιστρέψουν σε τυχαία διαμόρφωση. Ο T1 για τα πρωτόνια στο λίπος είναι πολύ μικρότερο από εκείνο των πρωτονίων στο νερό (2). Συμπερασματικά, μαγνητικά κύματα και ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των ιστών του σώματος. Η μέθοδος είναι χρήσιμη για τον καθορισμό του μεγέθους των οργάνων, τον ποσοτικό προσδιορισμό της μυϊκής μάζας, τον ποσοτικό προσδιορισμό και τη κατανομή της λιπώδους μάζας αλλά και για τον διαχωρισμό της σε υποδόριο και σπλαχνικό λίπος (14), (15).

## 2.6 Ολόσωμη ακτινοβολία $^{40}\text{K}$

Οι μετρητές ολόκληρου του σώματος κατασκευάστηκαν αρχικά για πυρηνική έρευνα και εγκαταστάσεις όπλων, με σκοπό την παρακολούθηση των εργαζομένων για πιθανή εσωτερική μόλυνση, ως αποτέλεσμα της τεχνητής ραδιενέργειας. Κατά την παρακολούθηση των εργαζομένων, σημειώθηκε ότι ήταν εμφανής μια σταθερή κορυφή (που αργότερα αποδόθηκε

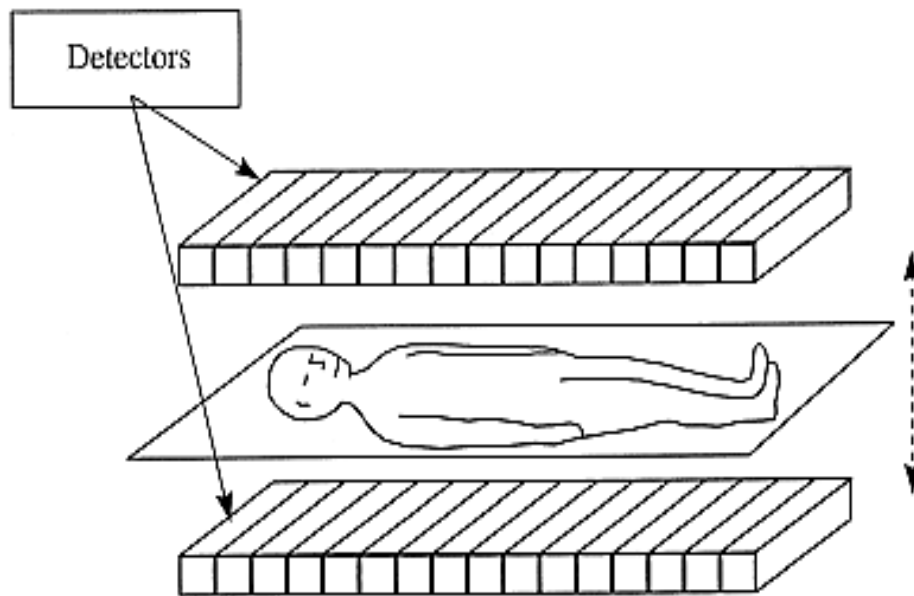
σε  $^{40}\text{K}$ ) για όλους τους εργαζόμενους ανεξάρτητα από το ιστορικό έκθεσής τους. Η καταμέτρηση του  $^{40}\text{K}$  ήταν η πρώτη πραγματική in vivo χημική δοκιμασία του ανθρώπινου σώματος. Αυτό το ισότοπο αποτελεί περίπου το 0.012% του φυσικού καλίου και εκπέμπει υψηλή ενέργεια  $\gamma$  1.46 MeV. Για έναν νεαρό ενήλικα άνδρα 70 κιλών, η περιεκτικότητα του καλίου στο σώμα θα παράγει περίπου  $1.5 \cdot 10^4$  εξερχόμενες ακτίνες  $\gamma$  ανά λεπτό (2).

Για να επιτευχθεί μια ακριβής μέτρηση  $^{40}\text{K}$  στους ανθρώπους, απαιτείται η ύπαρξη ανιχνευτών ακτίνων- $\gamma$  με καλή ανάλυση ενέργειας και υψηλή απόδοση, επαρκή θωράκιση γύρω από το άτομο και ανιχνευτές για να μειωθούν τα επίγεια και κοσμικά επίπεδα υποβάθρου και ένα σύστημα απόκτησης δεδομένων. Οι χρόνοι μέτρησης μπορούν να κυμανθούν από λίγα λεπτά έως μία ώρα, ανάλογα με τη μείωση του σήματος υποβάθρου, την αποτελεσματικότητα μέτρησης και το μέγεθος του ατόμου.

Το ιόν του καλίου ( $\text{K}^+$ ) είναι ένας βασικός ηλεκτρολύτης του σώματος, ο οποίος εντοπίζεται κυρίως μέσα στα κύτταρα. Ο κατεξοχήν τρόπος μέτρησης της ποσότητας του στοιχείου αυτού στο ανθρώπινο σώμα, είναι με χρήση της μεθόδου της ολόσωμης ακτινοβολίας  $^{40}\text{K}$  (16). Η μέθοδος αυτή θεωρείται μια σημαντική κλινική μέθοδος μέτρησης της κυτταρικής μάζας του σώματος, ενώ ο προσδιορισμός του καλίου γίνεται με τον μετρητή ολόσωμης ακτινοβολίας (17).

Το κάλιο είναι ένα ενδοκυττάριο κατιόν και επομένως απαντάται στους μύες και στα διάφορα όργανα του σώματος. Στον λιπώδη ιστό, στα οστά και στο κολλαγόνο βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Ως εκ τούτου, η μέτρηση του K μας παρέχει μια εκτίμηση της κυτταρικής μάζας του σώματος και κατά δεύτερο λόγο, της άλιπης μάζας του ανθρώπινου σώματος. Βασική προϋπόθεση για αυτήν την αναγωγή, είναι ότι το κάλιο περιέχεται σε σταθερή συγκέντρωση μέσα στα κύτταρα ή μέσα στην άλιπη μάζα, κάτι που όντως ισχύει στον υγιή πληθυσμό.

Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι είναι μη παρεμβατική, δεν χρειάζεται νηστεία πριν τη μέτρηση, είναι παθητική διαδικασία οπότε ο εξεταζόμενος τίθεται σε ύπτια θέση για μερικά λεπτά χωρίς να του ζητήσει να κάνει κάτι, (αν επιθυμούμε μέγιστη ακρίβεια μπορούμε να αυξήσουμε το χρόνο μέτρησης ή να πάρουμε πολλές μετρήσεις σε διάστημα μερικών ημερών), και ότι επιτρέπεται στον εξεταζόμενο να εκτελεί μικρές κινήσεις. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η σπάνια διαθεσιμότητα του οργάνου αλλά και οι απαιτήσεις της μεθόδου για συνεχή βαθμονόμηση του συστήματος μέτρησης (18).



Εικόνα 2.2: Διάταξη ολόσωμου μετρητή σώματος

## 2.7 Βιοηλεκτρική εμπέδηση ή αντίσταση

Η βιοηλεκτρική εμπέδηση (Bioelectrical Impedance Analysis, BIA), ορίζεται ως η ικανότητα των βιολογικών ιστών να εμποδίζουν την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος. Καλείται επίσης και μέθοδος Βιοηλεκτρικής Αντίστασης, καθότι η εμπέδηση οφείλεται στην ωμική αντίσταση και στη χωρητική αντίσταση. Η BIA, αφενός μεν, λόγω της εύκολης εφαρμογής της και αφετέρου, διότι είναι μη παρεμβατική, χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές κλινικές εφαρμογές.

Ο όρος «μη παρεμβατική» μέθοδος υποδηλώνει ότι η διαδικασία της μέτρησης είναι αβλαβής και ακίνδυνη. Στην ουσία αυτό που σημαίνει, είναι ότι δεν αλλάζει τίποτε στην φυσιολογία του εξεταζόμενου, δηλαδή μετά τη μέτρηση ο εξεταζόμενος βρίσκεται ακριβώς στην ίδια κατάσταση με αυτήν που ήταν πριν τη μέτρηση, χωρίς να έχει επιβαρυνθεί με κάποια δόση επιβλαβούς ακτινοβολίας και χωρίς να έχει επιβαρυνθεί με οποιοδήποτε άλλο τρόπο. Αντίθετα μια παρεμβατική μέθοδος αφήνει κάτι στον εξεταζόμενο, όπως π.χ. η Αξονική Τομογραφία ή η DXA αφήνει μια δόση Ακτινοβολίας X (18).

Τεχνική	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί	Ερευνητικές προτεραιότητες
<b>Πυκνομετρία</b>	Άμεση μέτρηση της ολικής σωματικής πυκνότητας	Διπλό μοντέλο λιπώδους και ελεύθερης λίπους μάζας, μη πρακτική η υποβρύχια ζύγιση, ακριβός εξοπλισμός	Χρήση της μετατόπισης του αέρα, καθορισμός των διακυμάνσεων στην ελεύθερη λίπους μάζα
<b>DXA</b>	Γρήγορη και απλή, διαχωρίζει τον οστικό ιστό, δίνει πληροφορίες για την κατανομή του λίπους	Απαιτεί διαφορετικά μηχανήματα και δεδομένα για διαφορετικά άτομα, ακριβός εξοπλισμός	Δεν έχουν καθοριστεί
<b>Δερματοπτυχές και πυκνομετρία</b>	Γρήγορη και απλή, οικονομική, χρήσιμη σε μεγάλες μελέτες, δίνει πληροφορίες για την κατάσταση του λίπους	Απαιτεί διαφορετικές εξισώσεις για την μετατροπή των δεδομένων σε σύνθεση σώματος	Ανάπτυξη και έλεγχος της αξιοπιστίας των εξισώσεων για διαφορετικές εθνικές ομάδες και στάδια ωρίμανσης
<b>Βιοηλεκτρική αντίσταση</b>	Γρήγορη και απλή, οικονομική, χρήσιμη σε μεγάλες μελέτες	Υπολογίζει τη συνολική ποσότητα νερού του σώματος, έτσι απαιτεί πληροφορίες για την ενυδάτωση της ελεύθερης λίπους μάζας σώματος	Χρήση της πολλαπλής αντίστασης, ανάπτυξη και έλεγχος της αξιοπιστίας των εξισώσεων για διαφορετικές εθνικές ομάδες
<b>MRI/CT</b>	Μέτρηση ιστολογικών περιοχών σε συγκεκριμένα ανατομικά σημεία	Η CT απαιτεί ακτινοβολία, ακριβές μέθοδοι, περιορισμένη διαθεσιμότητα	Επαλήθευση των αντιπροσωπευτικών ανατομικών σημείων, ανάπτυξη εναλλακτικών εξισώσεων πρόβλεψης για την αποφυγή χρήσης ακριβού εξοπλισμού

Πίνακας 1: Σύγκριση των μεθόδων αξιολόγησης της σωματικής σύστασης (19)

## Κεφάλαιο 3: Η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης BIA

### 3.1 Απαραίτητη ονοματολογία για την κατανόηση της BIA

Για την καλύτερη κατανόηση της αρχής της μεθόδου βιοηλεκτρικής εμπέδησης παραθέεται η απαραίτητη ονοματολογία.

- Σωματικό βάρος (BW) → Η συνολική μάζα του σώματος, όπως προκύπτει από την ζυγαριά μέτρησης σωματικού βάρους
- Όγκος σώματος (BV) → ο όγκος του σώματος, όπως προκύπτει από την υδροπυκνομετρία ή την αεροπυκνομετρία
- Μάζα λίπους (FM) → είναι η μάζα του χημικού λίπους, (όχι ο λιπώδης ιστός ο οποίος αποτελείται από λιπαρές ουσίες και άλλα κυτταρικά συστατικά)
- Μάζα μη λίπους (FFM) → τα πάντα, εκτός από το λίπος
- Άπαχη μάζα σώματος (LBM) → συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμο του FFM αλλά δεν είναι ακριβώς το ίδιο, εμπεριέχει το λίπος που υπάρχει στα όργανα, στον μυελό των οστών κτλ
- Κυτταρική μάζα σώματος (BCM) → ο μεταβολικά ενεργός ιστός, προσδιορίζεται με τη μέθοδο της ολόσωμης ακτινοβολίας  $^{40}\text{K}$
- Περιεκτικότητα των οστών σε ανόργανα άλατα (BMC) → η περιεκτικότητα ανόργανων αλάτων του σώματος, όπως καθορίζεται από τη μέθοδο DXA
- Άπαχη μάζα (Lean) → τα πάντα, εκτός από BCM και χημικό λίπος

### 3.2 Η αρχή λειτουργίας της BIA

Η αρχή στην οποία βασίζεται η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης, σχετίζεται με την ιδιότητα κυρίως του εξωκυττάριου νερού του σώματος, αλλά και του άπαχου εν γένει ιστού να έχουν μικρότερη αντίσταση στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος από ότι ο λιπώδης ιστός. Αυτό συμβαίνει, αφενός μεν, λόγω των ηλεκτρολυτών ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  κ.ά.) που εμπεριέχονται στο εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο νερό και οι οποίοι, άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα και αφετέρου, διότι ο «άπαχος ιστός» περιέχει περισσότερο νερό (~73%) απ' ότι ο λιπώδης ιστός (~10-15%). Ως αποτέλεσμα, οι διαλυμένοι στον άπαχο ιστό ηλεκτρολύτες, διευκολύνουν τη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος. Συνεπώς, η ωμική αντίσταση του σώματος συσχετίζεται αρνητικά με το ποσοστό ενυδάτωσης των ιστών και επομένως, με την ποσότητα μυϊκής μάζας. Έμμεσα λοιπόν, η ωμική αντίσταση του ανθρώπινου σώματος συσχετίζεται θετικά με την ποσότητα του σωματικού λίπους.



Η ωμική αντίσταση ( $R$ ), ενός ομοιογενούς κυλινδρικού αγωγίμου υλικού, είναι ανάλογη προς το μήκος ( $L$ ) και αντιστρόφως ανάλογη προς τη διατομή ( $A$ ) του κυλίνδρου. Αν και το ανθρώπινο σώμα δεν είναι ένας ομοιόμορφος κύλινδρος και η αγωγιμότητά του δεν είναι σταθερή κατά μήκος του σώματος, έχει βρεθεί ότι ο όγκος ( $V$ ) του νερού του σώματος που περιέχει τους ηλεκτρολύτες, οι οποίοι άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του σώματος, είναι αντιστρόφως ανάλογος της  $R$ . Η σχέση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η αντίσταση  $R$  είναι ανάλογη του μήκους  $L$  και αντιστρόφως ανάλογη της διατομής  $A$ :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (3.1)$$

όπου  $\rho$  είναι η ειδική αντίσταση του υλικού, (στην περίπτωση μας των υγρών του σώματος) με μονάδες  $\Omega \cdot \text{cm}$ . Από την εξίσωση (3.1), πολλαπλασιάζοντας αριθμητή και παρονομαστή με  $L$ , προκύπτει η σχέση:

$$R = \frac{\rho \cdot L \cdot L}{A \cdot L} = \frac{\rho \cdot L^2}{V} \quad (3.2)$$

Από την εξίσωση (3.2) προκύπτει τελικά η σχέση:

$$V = \frac{\rho \cdot L^2}{R} = \frac{\rho' \cdot Ht^2}{R} \quad (3.3)$$

Η σχέση αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το νερό του ανθρώπινου σώματος, μετρώντας απλά την ηλεκτρική αντίσταση του σώματος. Τυπικά,  $L$  είναι το αγωγίμο μήκος, το οποίο εκτείνεται συνήθως από τον καρπό του χεριού έως τον αστράγαλο του ποδιού, δηλαδή το μήκος μεταξύ των ακραίων σημείων μεταξύ των οποίων ρέει το ηλεκτρικό ρεύμα. Πρακτικά όμως, έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται το συνολικό ύψος του σώματος  $Ht$ , καθότι ο λόγος  $\frac{L}{Ht} = \alpha$  είναι σταθερός μέσα σε μια ομάδα πληθυσμού με τα ίδια ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά. Ο νέος συντελεστής  $\rho'$  είναι η τροποποιημένη ειδική αντίσταση, δηλαδή  $\rho' = \rho \cdot \alpha^2$ . Επομένως, η παραπάνω σχέση συσχετίζει τον όγκο του νερού του σώματος με τον λόγο  $\frac{Ht^2}{R}$  που είναι εύκολα μετρήσιμος. Επειδή όμως, στο μοντέλο των 2-τμημάτων, FM & FFM, εξορισμού, όλο το νερό του σώματος εμπεριέχεται στο FFM, η εξίσωση (3.3) μετατρέπεται σε σχέση μεταξύ FFM και  $\frac{Ht^2}{R}$ .

Λόγω της εγγενούς ανομοιογένειας των διαφορετικών τμημάτων του ανθρώπινου σώματος, ο όρος  $V$  της εξίσωσης (3.3) περιγράφει έναν ισοδύναμο κύλινδρο, που αντιστοιχεί στην πραγματική γεωμετρία του ανθρώπινου σώματος, χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο συντελεστή. Αυτός ο συντελεστής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι και η ανατομία των διάφορων τμημάτων του σώματος. Επομένως, όταν χρησιμοποιείται

η σχέση (3.3), είναι λογικό να εμφανίζονται σφάλματα στην εκτίμηση του  $V$ , όταν σε μεμονωμένα άτομα εμφανίζονται αποκλίσεις

- στην ειδική αντίσταση του αγωγίμου FFM,
- στην αναλογία ύψους (Ht) προς αγωγίμο μήκος (L), όπως π.χ. δυσμορφία άκρων κτλ και
- στη μορφή του σώματος ή κάποιων τμημάτων του σώματος.

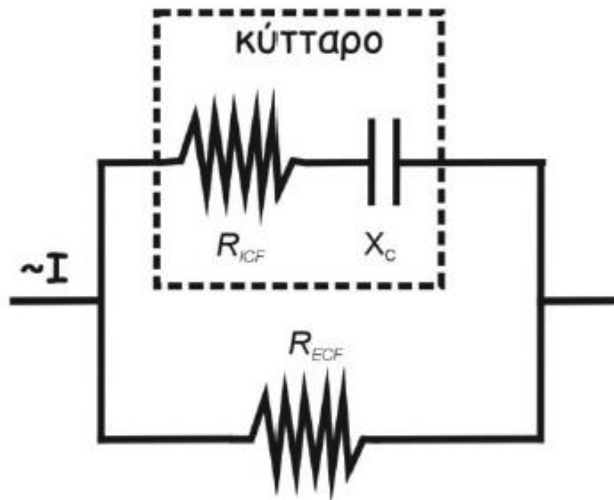
Μια επιπλέον πολυπλοκότητα είναι ότι το ανθρώπινο σώμα «εμπεριέχει» δύο τύπους ηλεκτρικής αντίστασης: την κανονική ωμική αντίσταση  $R$  (resistance) και τη χωρητική αντίσταση πυκνωτή  $X_C$  (reactance). Η  $R$  προκύπτει από το εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο νερό. Η  $X_C$  προκύπτει από τις μεμβράνες των κυττάρων, που περιέχουν δομικά λιπίδια (διηλεκτρικό υλικό) και μπορούν να θεωρηθούν ότι, μαζί με τα περιβάλλοντα από τις δυο πλευρές υγρά, δρουν ως πυκνωτές. Εδώ, αξίζει να σημειωθεί ότι η αντίσταση του καθαρού υποδόριου λίπους είναι πρακτικά άπειρη και συνεισφέρει ελάχιστα στην ολική αντίσταση του σώματος, θεωρώντας ότι η αντίσταση του λίπους είναι τοποθετημένη σε κύκλωμα παράλληλα στην πολύ μικρότερη αντίσταση της άπαχης μάζας. Ο όρος εμπέδηση (impedance) ή σύνθετη αντίσταση  $Z$  χρησιμοποιείται, για να περιγράψει την ανυσματική πρόσθεση των  $R$  και  $X_C$ , όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Γραφική απεικόνιση του διανύσματος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης ( $Z$ ), το οποίο αναλύεται στις δυο επιμέρους συνιστώσες: αντίσταση ( $R$ ) και χωρητική αντίσταση ( $X_C$ ). Καθώς η συχνότητα του εφαρμοζόμενου ρεύματος ( $f$ ) αυξάνεται, το  $Z$  αλλάζει κατεύθυνση και μέτρο (το μήκος του μειώνεται), όπως περιγράφεται στο κείμενο. Η  $X_C$  παίρνει τη μέγιστη τιμή της, όταν η συχνότητα φθάσει σε μια τιμή που καλείται χαρακτηριστική συχνότητα ( $f_c$ ). Η γωνία φάσης ( $\varphi$ ) υπακούει στη σχέση:  $\varepsilon\varphi(\varphi) = \frac{X_C}{R}$

Μοντέλα διαφορετικών ηλεκτρικών κυκλωμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί, για να περιγράψουν τη βιοηλεκτρική συμπεριφορά των βιολογικών ιστών in vivo. Σε ένα από τα μοντέλα που

χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των ιστών σώματος, τα R και  $X_C$  βρίσκονται σε σειρά, ενώ περιλαμβάνεται επιπλέον μια παράλληλη σ' αυτά αντίσταση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2. Το επάνω σκέλος του κυκλώματος αυτού περιέχει έναν πυκνωτή, ο οποίος αντιστοιχεί στη χωρητική αντίσταση  $X_C$  του σώματος, (λόγω των κυτταρικών μεμβρανών) και μια ωμική αντίσταση που σχετίζεται με την κανονική ηλεκτρική αντίσταση  $R_{ICF}$  των ενδοκυττάρων υγρών. Το κάτω σκέλος, περιέχει μόνο μια ωμική αντίσταση  $R_{ECF}$  που αντιστοιχεί στην ηλεκτρική αντίσταση που ασκούν τα εξωκυττάρια υγρά. Σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουμε πυκνωτή, καθώς το ρεύμα που περνά από τα εξωκυττάρια υγρά, δε διέρχεται μέσα από κύτταρα. Τα R και  $X_C$  μπορούν να μετρηθούν χρησιμοποιώντας, είτε μια προεπιλεγμένη συχνότητα εναλλασσομένου ρεύματος (συνήθως 50 kHz, καθότι στους ενήλικες το μέγιστο  $X_C$  καταγράφεται σ' αυτήν περίπου τη συχνότητα), είτε μια σειρά συχνοτήτων.



Εικόνα 3.2: Μοντέλο ηλεκτρικού κυκλώματος που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της ηλεκτρικής συμπεριφοράς των βιολογικών ιστών του ανθρώπινου σώματος

Το συνεχόμενο και το χαμηλής συχνότητας ρεύμα, δε διαπερνά τη μεμβράνη των κυττάρων, η οποία ενεργεί ως ηλεκτρικός μονωτής με σχεδόν άπειρη εμπέδηση Z. Αυτό προκύπτει από την εξίσωση που δίνει το Z ως συνάρτηση των R (εδώ  $R = R_{ICF}$ ) και  $X_C$ :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(C\omega)^2}} \quad (3.4)$$

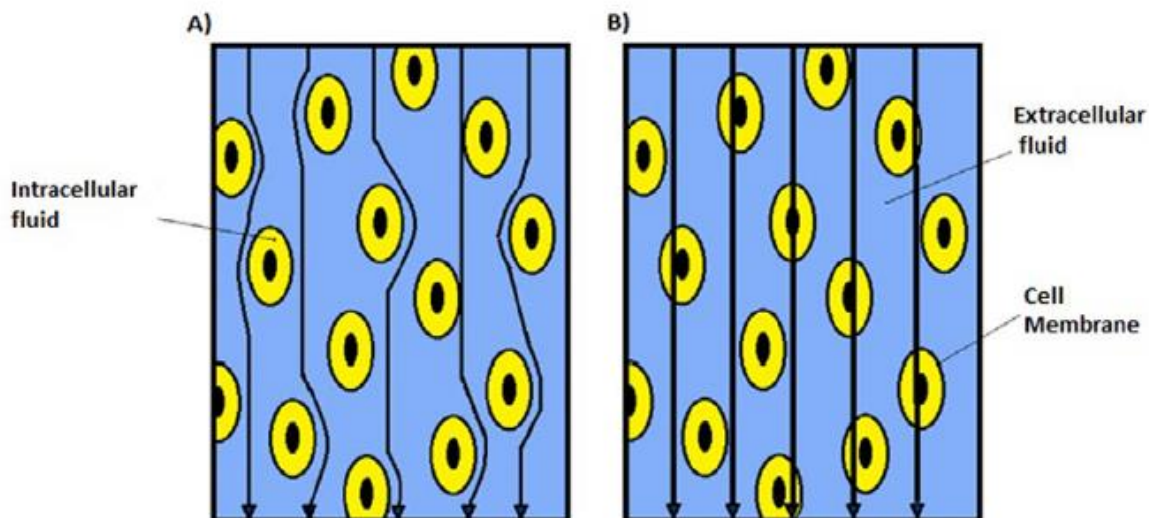
όπου C είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή και  $\omega$  είναι η γωνιακή συχνότητα του ρεύματος.

Όταν  $\omega \rightarrow 0$ , ο όρος της χωρητικής αντίστασης τείνει στο άπειρο και επομένως  $Z_{\kappa\upsilon\tau\tau} \rightarrow \infty$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το ρεύμα να διαπερνά το ηλεκτρικό κύκλωμα της Εικόνας 3.2 από το κάτω σκέλος, δηλαδή μέσω των εξωκυττάρων υγρών του σώματος. Επομένως, σ' αυτήν την περίπτωση, η μετρούμενη εμπέδηση ισοδυναμεί με την αντίσταση  $R_0$  της Εικόνας 3.1 και ισχύει ότι  $R_0 = R_{ECF}$ . Σε πολύ μεγάλη συχνότητα ρεύματος, όταν δηλαδή  $\omega \rightarrow \infty$ , η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή τείνει στο μηδέν και επομένως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2, η μετρούμενη αντίσταση  $R_\infty$  αντιστοιχεί στις δυο παράλληλες αντιστάσεις  $R_{ICF}$  και  $R_{ECF}$ :

$$\frac{1}{R_\infty} = \frac{1}{R_{ICF}} + \frac{1}{R_{ECF}} \quad (3.5)$$

Επειδή δεν είναι τεχνικά δυνατόν να γίνουν μετρήσεις για συχνότητες μηδέν και άπειρο, τα  $R_0$  και  $R_\infty$  μπορούν να βρεθούν με μαθηματική προσαρμογή των δεδομένων  $R-X_c$  για μια σειρά συχνοτήτων και τα  $R_0$  και  $R_\infty$  εξάγονται κατά συμπερασμό (by extrapolation). Έτσι, είναι δυνατόν να γίνει εκτίμηση για την ποσότητα των εξωκυττάρων νερού του σώματος (ECW), αφού σύμφωνα με τα παραπάνω ισχύουν οι αναλογίες:  $ECW \sim \frac{1}{R_0}$  και  $TBW \sim \frac{1}{R_\infty}$ . Οι σταθερές αυτών των αναλογιών προκύπτουν από την εφαρμογή πρότυπων μεθόδων μέτρησης των ECW και TBW.

Έχει βρεθεί ότι η χαρακτηριστική συχνότητα  $f_c$ , κατά την οποία το  $X_c$  γίνεται μέγιστο (βλ. Εικόνα 3.1), κυμαίνεται στους ενήλικες περίπου από 35 kHz έως 70 kHz, ενώ ο μέσος όρος είναι περίπου 50 kHz. Στα παιδιά η αντίστοιχη τιμή είναι λίγο μεγαλύτερη. Στην ενδιάμεση συχνότητα των 50 kHz, το ρεύμα περνά τόσο μέσα από τα κύτταρα (μεμβράνες και ενδοκυττάρια υγρά), όσο και μέσα από τα εξωκυττάρια υγρά, με αποτέλεσμα η μετρούμενη αντίσταση να αντιστοιχεί στη συνισταμένη όλων των εμπλεκόμενων αντιστάσεων (18).



Εικόνα 3.3: Ροή ρεύματος διαμέσου ιστού σε χαμηλές (α) και υψηλές (β) συχνότητες αντίστοιχα. Τα ρεύματα χαμηλής συχνότητας ρέουν έξω από τα κύτταρα ενώ τα ρεύματα υψηλής συχνότητας διασχίζουν την κυτταρική μεμβράνη (20)

Εκτός από το μοντέλο της Εικόνας 3.2, υπάρχουν και άλλα μοντέλα, που θεωρούν ότι οι πυκνωτές και οι αντιστάσεις είναι παράλληλες μεταξύ τους. Τέλος, υπάρχουν πιο σύνθετα μοντέλα που εμπεριέχουν πυκνωτές και αντιστάσεις, τόσο σε σειρά, όσο και παράλληλες μεταξύ τους. Σε όλες τις περιπτώσεις των χρησιμοποιούμενων μοντέλων, προκύπτουν εξισώσεις εκτίμησης των FFM, TBW, ECW και ICW που εμπεριέχουν διάφορες παραμέτρους, όπως R,  $X_c$ , ύψος, μάζα, ηλικία, φύλο κτλ.

### 3.3 Τι μετρά η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA)

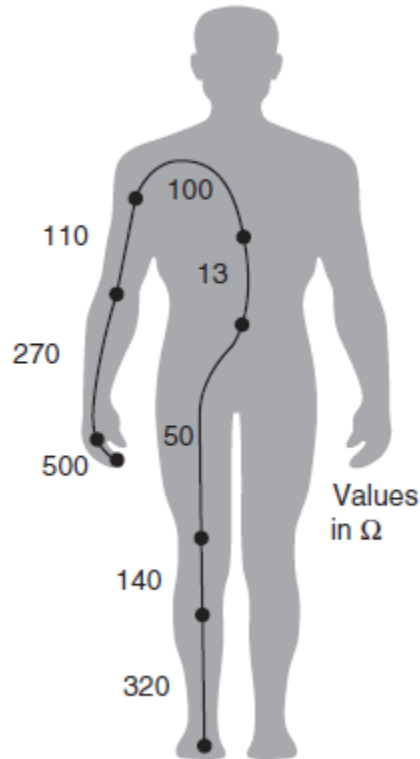
Ο αναλυτής BIA διοχετεύει στο σώμα του ατόμου που μετράται, συνήθως, ρεύμα συχνότητας 50kHz και έντασης  $I \cong 800\mu A$ , αρκετά μικρό ώστε να μην γίνεται αντιληπτό, αλλά και μεγάλο για να παράγει τάση που να υπερτερεί του θορύβου, που μπορεί να προέρχεται από μυοηλεκτρικές πηγές, όπως είναι οι μύες του ποδιού ή εξωτερικές παρεμβολές από πηγές. Το ρεύμα, περνά μεταξύ των δυο ηλεκτροδίων και με αυτόν τον τρόπο δημιουργεί τάση ( $Z = \frac{V}{I}$ ) σε διαφορετικά σημεία του σώματος σύμφωνα με τον νόμο του Ohm. Τα ηλεκτρόδια, τοποθετούνται συνήθως στον καρπό και στον αστράγαλο και λόγω αυτής της διάταξης το ρεύμα ρέει μέσω των αγωγίμων υλικών του σώματος μεταξύ καρπού και αστραγάλου. Φορείς του ρεύματος είναι τα ιόντα  $K^+$  και  $Na^+$ .

Όσον αφορά την αγωγιμότητα των συστατικών του σώματος, υψηλή αγωγιμότητα παρουσιάζουν το αίμα και τα ούρα, ενδιάμεση οι μύες, ενώ χαμηλή αγωγιμότητα τα οστά, το λίπος και ο αέρας. Χαμηλή αντίσταση στη ροή ρεύματος υπάρχει σε περιοχές που ο αγωγός έχει μεγαλύτερη περιοχή εγκάρσιας διατομής, όπως ο κορμός του σώματος, ενώ υψηλή αντίσταση παρατηρείται σε περιοχές με μικρή επιφάνεια διατομής όπως το αντιβράχιο. Σε μελέτες έχει βρεθεί ότι ο βραχίονας και το πόδι συνεισφέρουν περίπου το μισό στην συνολική σύνθετη αντίσταση Z (21).

Στην τιμή της σύνθετης αντίστασης κυριαρχεί η συνεισφορά του δέρματος ωστόσο η συνεισφορά μπορεί να είναι αμελητέα εάν:

- Η τάση είναι αρκετά υψηλή
- Το δέρμα είναι ενυδατωμένο
- Η αποτελεσματική περιοχή επαφής του ηλεκτροδίου με το δέρμα είναι εκτενής
- Και η συχνότητα του σήματος είναι αρκετά υψηλή

Χωρίς την συνεισφορά του δέρματος και θεωρώντας ότι ο ζωντανός ιστός του σώματος έχει αντίσταση, η αντίσταση  $R$  ενός τμήματος του σώματος καθορίζεται από την ειδική αντίσταση  $\rho$ , το μέσο μήκος  $L$ , και τη μέση διατομή  $A$  σύμφωνα με την σχέση:  $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$  όπου η αντίσταση  $R$  μπορεί να μετρηθεί με την τεχνική των 4 ηλεκτροδίων (22).



Εικόνα 3.4: Η τιμή της αντίστασης για τα διάφορα μέρη του σώματος. Οι τιμές που παρουσιάζονται βρέθηκαν με την μέθοδο των τεσσάρων ηλεκτροδίων ενώ η τιμή των 500Ω στο πάνω άκρο αναφέρεται στην συνεισφορά του ενός δακτύλου

Στην Εικόνα 3.4 αξιολογημένος είναι ο ρόλος της εγκάρσιας διατομής. Η αντίσταση κυριαρχείται από την συμβολή ενός δακτύλου του χεριού ή του ποδιού, ενώ η επίδραση από το στήθος είναι αμελητέα. Επιπλέον, η ροή ρεύματος μπορεί να περιοριστεί κοντά στα ηλεκτρόδια εάν αυτά είναι μικρά. Οι υψηλότερες τιμές αντίστασης μπορεί επίσης να οφείλονται στις σχετικά μικρές, καλώς αγωγικές περιοχές διατομής ιστών σε τέτοιες αρθρώσεις όπως η μασχάλη, ο αγκώνας και το γόνατο (23).

### 3.4 Κατηγορίες βιοηλεκτρικής εμπέδησης

Υπάρχουν 3 κύριοι τρόποι εφαρμογής των αρχών της βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Αυτοί είναι:

- Βιοηλεκτρική εμπέδηση μονής συχνότητας

- Βιοηλεκτρική εμπέδηση πολλαπλής συχνότητας
- Διανυσματική βιοηλεκτρική εμπέδηση

### 3.4.1.Βιοηλεκτρική εμπέδηση μονής συχνότητας

Η μεθοδολογία αυτή είναι η πλέον τεκμηριωμένη και αποβλέπει στην πρόβλεψη του συνολικού ύδατος του σώματος (TBW), με την εφαρμογή εναλλασσόμενου ρεύματος πολύ μικρής έντασης (<1 mA) και συχνότητας 50 kHz. Ανάλογα με το που εφαρμόζονται τα ηλεκτρόδια, η μέθοδος αυτή μετρά την εμπέδηση ολόκληρου του σώματος ή μερών αυτού. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις, αντί της εμπέδησης, μετράται μόνο η ωμική αντίσταση. Σ' αυτήν την περίπτωση, στα τελικά αποτελέσματα δε συμπεριλαμβάνονται οι τιμές  $X_C$  και  $\phi$ .

Έχουν γίνει πολλαπλές μελέτες τεκμηρίωσης και επικύρωσης διαφόρων παραλλαγών της μεθόδου αυτής και έχουν δημοσιευτεί πολλές εξισώσεις που δίνουν τη σχέση μεταξύ του νερού του σώματος και του δείκτη εμπέδησης  $\frac{Ht^2}{Z}$  ή του δείκτη αντίστασης  $\frac{Ht^2}{R}$ , όπου  $Ht$  είναι το ύψος του ανθρώπου. Οι εξισώσεις αυτές έχουν βρεθεί, χρησιμοποιώντας μια πρότυπη μέθοδο για την επακριβή μέτρηση του TBW και τη βιοηλεκτρική εμπέδηση, ως την υπό εξέταση μέθοδο εκτίμησης. Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ των μετρήσεων των δυο μεθόδων και η μέθοδος Bland-Altman δίνουν την εγκυρότητα της κάθε παραλλαγής της μεθόδου βιοηλεκτρικής εμπέδησης (18).

### 3.4.2 Βιοηλεκτρική εμπέδηση πολλαπλής συχνότητας

Σ' αυτήν την κατηγορία των μεθοδολογιών, ο αναλυτής BIA μετρά τη βιοηλεκτρική εμπέδηση σε δυο ή περισσότερες συχνότητες του εφαρμοζόμενου εναλλασσόμενου ρεύματος. Εδώ παραθέτονται τρεις υποπεριπτώσεις. Αν έχουμε μόνο δυο συχνότητες, συνήθως μια μικρή (π.χ. 5 kHz) και μια μέση ή μεγάλη (50 kHz ή 100-500 kHz), η μεθοδολογία ονομάζεται Βιοηλεκτρική Εμπέδηση Διπλής Συχνότητας. Επίσης, υπάρχει η Βιοηλεκτρική Εμπέδηση Πολλαπλής Συχνότητας, όπου το όργανο χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο αριθμό συχνοτήτων (συνήθως 3 έως 10).

Μια πιο εξελιγμένη μεθοδολογία είναι αυτή που χρησιμοποιεί 256 ή και παραπάνω συχνότητες, συνήθως από 1 kHz έως 1 MHz και ουσιαστικά δίνει ένα φάσμα της  $Z$ , δηλαδή τη  $Z$  ως συνάρτηση του  $f$  ή του  $\omega$  ( $\omega = 2\pi f$ ). Γ' αυτό, η μεθοδολογία αυτή καλείται και Φασματοσκοπία Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης (Bioimpedance Spectroscopy, BIS). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια θεωρητική προσέγγιση (24), (25), (26), μέσω της οποίας υπολογίζονται όλες οι υπό εκτίμηση παράμετροι. Επειδή, όμως, η μέθοδος BIS μετρά τη  $Z$  και στη συχνότητα των 50 kHz, εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε

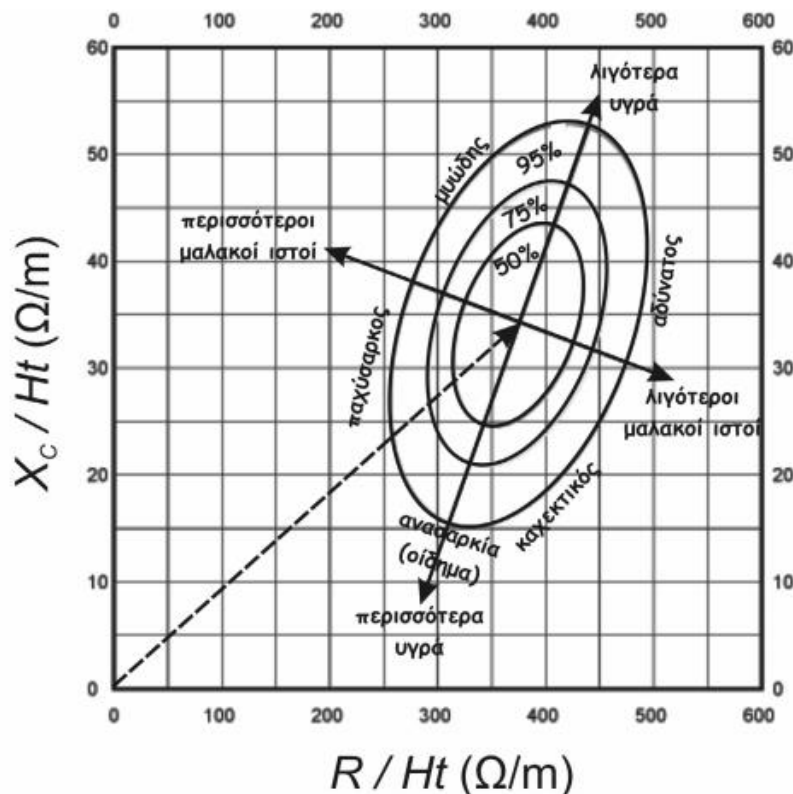
οποιαδήποτε εξίσωση BIA, παράλληλα με τις εκτιμήσεις που μας παρέχει η μέθοδος BIS (μέσω του λογισμικού που συνοδεύει το όργανο). Επομένως η μέθοδος BIS συμπεριλαμβάνει τη μέθοδο BIA (18).

Ο τελικός στόχος της Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης Πολλαπλής Συχνότητας είναι η έμμεση εύρεση των  $R_0$  και  $R_\infty$  μέσω προσαρμογής των δεδομένων ( $Z-f$ ) σε κατάλληλες εξισώσεις, μέσω των οποίων υπολογίζονται τα  $R_0$  και  $R_\infty$ . Κατόπιν, υπολογίζονται οι διάφοροι παράμετροι της σύστασης σώματος, χρησιμοποιώντας εξισώσεις που αναφέρονται σε συγκεκριμένες ομάδες πληθυσμού. Έτσι, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για το εξωκυττάριο νερό του σώματος. Το ECW σχετίζεται με το  $R_0$  και το TBW σχετίζεται με το  $R_\infty$ . Τέλος, το ενδοκυττάριο νερό του σώματος, υπολογίζεται από τη διαφορά τους ( $ICW = TBW - ECW$ ). Ο ακριβής υπολογισμός των TBW, ICW και ECW, εκτός από το λίπος μπορεί να μας δώσει και πολλές άλλες παραμέτρους του σώματος, όπως τη μυϊκή μάζα, τη μάζα των αλάτων κ.ά. Εκτός αυτού, το %ICW ως ποσοστό επί του TBW ( $\%ICW + \%ECW = 100\%$ ), σχετίζεται αρνητικά με το %BF (27) και είναι ένα θέμα υπό διερεύνηση ειδικά στις παιδικές ηλικίες (28) κάτι που αποτελεί και θέμα διερεύνησης της παρούσας εργασίας.

### 3.4.3 Διανυσματική Βιοηλεκτρική εμπέδηση

Η τρίτη μεθοδολογία της βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι η χρήση της άμεσης διανυσματικής μέτρησης της εμπέδησης (μετρήσεις R και  $X_c$ ) σε συχνότητα 50 kHz, όπως και στην πρώτη μεθοδολογία. Εδώ, οι τιμές R και  $X_c$  μπαίνουν σε μια πιθανολογική γραφική παράσταση (29), δηλαδή, στη γραφική παράσταση της διανυσματικής βιοηλεκτρικής εμπέδησης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5. Για την ακρίβεια, αντί των R και  $X_c$  χρησιμοποιούνται τα μεγέθη  $\frac{R}{Ht}$  και  $\frac{X_c}{Ht}$ , δηλαδή, οι μετρούμενες αντιστάσεις διαιρούνται δια το ύψος του εξεταζόμενου και οι μονάδες των δυο αξόνων μετατρέπονται σε  $\Omega/m$ . Αυτή η αναγωγή των αντιστάσεων, σε «αντιστάσεις ανά μονάδα ύψους», μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε ένα ενιαίο χάρτη για την εκτίμηση της κατάστασης όλων των ατόμων του ίδιου φύλου και εθνικότητας, χωρίς το διαφορετικό ύψος του καθενός να επηρεάζει το αποτέλεσμα.





Εικόνα 3.5: Καθοδηγητικό πρότυπο διάγραμμα διανυσματικής βιοηλεκτρικής εμπέδησης, το οποίο έχει προκύψει από μετρήσεις ενός δείγματος 372 λευκών, υγιών γυναικών από την Ιταλία (30). Από τη μέτρηση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης παίρνουμε ένα ζεύγος τιμών  $R-X_c$ , διαιρώντας με το ύψος του σώματος προκύπτει το ζεύγος τιμών  $\frac{R}{Ht} - \frac{X_c}{Ht}$ , το οποίο τοποθετείται ως σημείο (ή διάνυσμα που αρχίζει από την αρχή των αξόνων και καταλήγει στο ευρεθέν σημείο) πάνω στο διάγραμμα αυτό. Ανάλογα με τη θέση του σημείου προσδιορίζεται η κατάσταση του ατόμου. Το αντίστοιχο διάγραμμα για τους άνδρες είναι παρόμοιο, αλλά οι ελλείψεις είναι μετατοπισμένες προς τα κάτω και αριστερά

Αυτή είναι μια αυτόνομη μεθοδολογία ανάλυσης της σύστασης σώματος, όπου το διάνυσμα της βιοηλεκτρικής εμπέδησης του σώματος αξιολογείται μέσω μιας τακτικής κλίμακας απόκλισης από έναν πληθυσμό αναφοράς. Παραδείγματος χάριν, η έλλειψη του 50% περικλείει τα σημεία στα οποία καταλήγουν τα διανύσματα Z του μισού δείγματος αναφοράς, συμπεριλαμβανομένης της μέσης τιμής. Αυτό σημαίνει ότι τα άτομα, των οποίων το διάνυσμα Z καταλήγει μέσα σ' αυτήν τη μικρή έλλειψη (ανεξαρτήτως σε ποιο τεταρτημόριο), έχουν ποσοστό λίπους, άλπη μάζα και ενυδάτωση σώματος κοντά στις μέσες τιμές του δείγματος αναφοράς, επομένως και του αντίστοιχου πληθυσμού. Αντιθέτως, ένα 5% του πληθυσμού τοποθετείται έξω από τις τρεις ελλείψεις της Εικόνας 3.5. Για τα άτομα αυτά, μια τουλάχιστον από τις τρεις προαναφερόμενες παραμέτρους βρίσκεται πολύ έξω από τη ζώνη των φυσιολογικών τιμών. Για ενδιάμεσες τοποθετήσεις του Z, από κλινικές μελέτες που έχουν γίνει

σε ενήλικες για την τεκμηρίωση τέτοιων διαγραμμάτων, τα διανύσματα που πέφτουν έξω από την έλλειψη του 75% μαρτυρούν μια ανώμαλη βιοηλεκτρική εμπέδηση του σώματος.

Ανάλογα επομένως με τη θέση του Z πάνω στο καθοδηγητικό πρότυπο διάγραμμα, παίρνουμε επιπλέον πληροφορίες για την ενυδάτωση, το λίπος και τη μυϊκή μάζα του εξεταζόμενου. Επίσης μπορούμε να συμπεράνουμε αν το άτομο είναι σε κατάσταση υποθρεψίας, καχεξίας, σε κατάσταση καλής θρέψης ή αν χαρακτηρίζεται από κάποια κατακράτηση υγρών.

### **3.5 Τα ηλεκτρόδια**

Στην ανάλυση βιοηλεκτρικής αντίστασης, η γεωμετρική δομή του ηλεκτροδίου έχει ισχυρό αντίκτυπο στα στοιχειώδη δεδομένα που ανακτώνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μέτρησης. Στην ανάλυση αυτή, τα ηλεκτρόδια ορίζονται ως ισοηλεκτρικά υλικά με αμελητέα πτώση τάσης κατά μήκος των συνδετήρων. Ο ελάχιστος αριθμός ηλεκτροδίων που απαιτείται για τη διεξαγωγή των μετρήσεων βιοηλεκτρικής αντίστασης είναι δύο, ένα για την παροχή ρεύματος με την υπόθεση μηδενικής διαφοράς δυναμικού και το άλλο για τη συλλογή της πτώσης τάσης με αμελητέα ροή ρεύματος που επηρεάζεται περισσότερο από τη θέση (31).

Η προσέγγιση του τετραπολικού ηλεκτροδίου χρησιμοποιείται ευρέως για μετρήσεις ολόσωμης βιοηλεκτρικής αντίστασης λόγω της ομοιομορφίας της κατανομής ρεύματος σε σύγκριση με τα μονοπολικά ηλεκτρόδια (32). Αντίθετα, η χρήση περισσότερων από δυο ηλεκτροδίων συλλογής τάσης ή οκταπολικού ηλεκτροδίου χρησιμοποιήθηκε για μελέτες τμηματικής βιοηλεκτρικής αντίστασης για την αξιολόγηση διαμερισμάτων σε διαφορετικά τμήματα του σώματος (33).

#### **3.5.1 Υλικό και σχήμα ηλεκτροδίων**

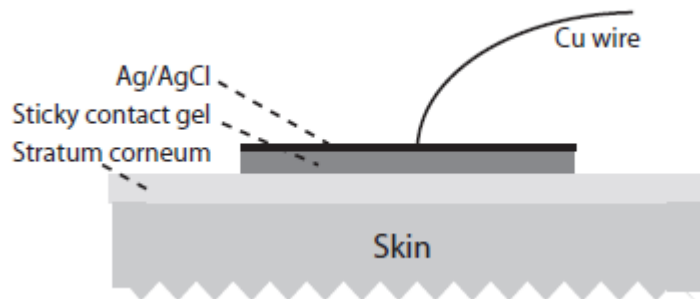
Στον τομέα της βιολογίας και της ιατρικής, μακράν το σημαντικότερο ηλεκτρόδιο το οποίο έχει το πλεονέκτημα να μην πολώνεται και να είναι κατάλληλο για σταθερή μέτρηση δυναμικού DC είναι το ηλεκτρόδιο AgCl. Αυτό συμβαίνει επειδή όλα τα υγρά των ιστών περιέχουν μερικά ιόντα Cl<sup>-</sup> και επειδή έχει ένα καλά καθορισμένο δυναμικό συνεχούς ρεύματος που δεν εξαρτάται σημαντικά από την ροή συνεχούς ρεύματος. Είναι επομένως ένα μη πολωμένο ηλεκτρόδιο αναφοράς DC. Συνήθως, αποτελείται από μέταλλο αργύρου που καλύπτεται από ένα στρώμα AgCl, συχνά εναποτιθέμενο ηλεκτρολυτικά. Ο Ag και ο AgCl είναι τοξικά και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μακροχρόνια επαφή με ζωντανό ιστό. Συνήθως, διαθέτουν γέλη (gel) ηλεκτρολύτη για να ελαχιστοποιήσουν την εμπέδηση διάκενου μεταξύ του δέρματος και των ηλεκτροδίων ενώ το σχήμα τους είναι κυκλικό ή ορθογώνιο, με επιφάνεια επαφής μεγαλύτερη από 4 cm<sup>2</sup> (34). Σε παιδιά και βρέφη, η χρήση ηλεκτροδίων μεγέθους των 4cm<sup>2</sup>

είναι αμφιλεγόμενη, για αυτό και ορισμένοι ερευνητές (35), (36), (37) κόβουν τα ηλεκτρόδια στη μέση σε αυτές τις περιπτώσεις (38).

### 3.5.2 Το απλό ηλεκτρόδιο

Στο ηλεκτρόδιο που αποτελείται από σύρμα χαλκού, οι φορείς του φορτίου είναι ελεύθερα ηλεκτρόνια ενώ στον ιστό, οι φορείς φορτίου είναι ελεύθερα ιόντα, θετικά ή αρνητικά. Το ηλεκτρόδιο εφάπτεται με το σημείο όπου λαμβάνει χώρα η αλλαγή φορέων φορτίου.

Στην Εικόνα 3.6 αναπαριστάται ένα τυπικό ηλεκτρόδιο δέρματος. Το χάλκινο σύρμα από το όργανο μέτρησης συνδέεται με ένα φύλλο αργύρου στην κορυφή μιας δομής με αλληλουχία στρωμάτων. Η κάτω πλευρά του φύλλου καλύπτεται από λεπτό στρώμα χλωριούχου αργύρου (AgCl). Η στρώση AgCl έρχεται σε επαφή με ένα στρώμα γέλης (gel) ηλεκτρολυτών επαφής. Όταν ένα μέταλλο, με ηλεκτρόνια ως φορείς φόρτισης έρχεται σε επαφή με έναν ηλεκτρολύτη, με ιόντα ως φορείς φορτίου, σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό στρώμα στην επιφάνεια της μεταλλικής πλάκας του ηλεκτρολύτη. Το στρώμα είναι πολύ λεπτό και εκεί είναι όπου πραγματοποιείται η μετατροπή από φορείς ηλεκτρονίων σε ιόντα (ή αντίστροφα).



Εικόνα 3.6: Τυπικό ηλεκτρόδιο επιφανείας δέρματος με κολλώδη γέλη το οποίο έρχεται σε επαφή με το δέρμα. Στην κορυφή υπάρχει στρώμα χλωριούχου αργύρου (AgCl), που καλύπτει λεπτή επίστρωση αργύρου. Το εξωτερικό στρώμα έρχεται σε επαφή με σύρμα χαλκού που συνδέεται με το όργανο μέτρησης

### 3.5.3 Ζεύγος ηλεκτροδίων

Το ηλεκτρόδιο είναι μια συσκευή η οποία δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνη της καθώς χρειάζονται δύο ηλεκτρόδια μεταφοράς ρεύματος (CC) για την αποστολή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του σώματος. Για δεδομένη τάση συνεχούς ρεύματος, το ζεύγος ηλεκτροδίων βρίσκεται σε ισορροπία καθώς δεν διαρρέονται από ρεύμα. Μόλις η εφαρμοζόμενη τάση αλλάξει, τα

ηλεκτρόδια διαρρέονται από ρεύμα και αυτή η αλλαγή ονομάζεται υπέρταση. Το ρεύμα τότε ρέει μέσω των ηλεκτροδίων CC και επομένως είναι πολωμένα.

Επίσης, χρειάζονται δύο ηλεκτρόδια συλλογής (PU) για να καταγράψουν τη βιολογική διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο σημείων του σώματος που έρχονται σε επαφή με τα ηλεκτρόδια. Έτσι καθώς αμελητέο ρεύμα ρέει μέσω των δύο ηλεκτροδίων PU, παράγεται το σήμα του δυναμικού λόγω της ηλεκτρικής δραστηριότητας των οργάνων του σώματος. Η πηγή σε αυτήν την περίπτωση είναι ενδογενής. Η βιοηλεκτρική αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με τέσσερα ηλεκτρόδια: δύο ηλεκτρόδια CC και δύο ηλεκτρόδια PU. Αυτό συνεπάγεται μετάδοση σήματος από το ζεύγος CC στο ζεύγος PU. Η πηγή σήματος σε αυτήν την περίπτωση είναι εξωγενής. Η βιοηλεκτρική αντίσταση μπορεί επίσης να μετρηθεί μόνο με δύο ηλεκτρόδια, κάθε ηλεκτρόδιο τότε λειτουργεί τόσο ως PU όσο και ως ένα CC ηλεκτρόδιο (23).

### 3.6 Μετρήτες της Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης

Οι μετρήσεις της Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης γίνονται, είτε μέσω απλής επαφής, είτε με τοποθέτηση ηλεκτροδίων σε κάποια σημεία του ανθρώπινου σώματος. Υπάρχουν διάφορων ειδών αναλυτές βιοηλεκτρικής εμπέδησης ανάλογα με το μετρούμενο τμήμα του σώματος, τους χρησιμοποιούμενους από το όργανο αλγόριθμους, καθώς και τη συχνότητα ή τις συχνότητες ρεύματος που χρησιμοποιούνται. Η απλή μορφή της μεθόδου της βιοηλεκτρικής εμπέδησης μετρά την ενυδάτωση του σώματος, δηλαδή μας δίνει μια εκτίμηση της ποσότητας του νερού που περιέχει το σώμα (βλ. σχέση 3.3) και από αυτή, έμμεσα, υπολογίζεται το λίπος από τις σχέσεις:

$$\frac{TBW}{FFM} = 0.73 \Rightarrow FFM = \frac{TBW}{0.73} \quad (3.6)$$

$$FM = BM - FFM \quad (3.7)$$

$$\%BF = \frac{100FM}{BM} \quad (3.8)$$

Οι αναλυτές βιοηλεκτρικής εμπέδησης με το μικρότερο κόστος και, ως εκ τούτου, προσιτοί στο ευρύ κοινό είναι αυτοί που μετρούν τη βιοηλεκτρική αντίσταση (μόνο το R) των κάτω ή των άνω άκρων (Εικόνα 3.7). Η ακρίβεια των μετρήσεων αυτών είναι περιορισμένη, διότι, αφενός δε λαμβάνεται υπ' όψη όλο το ανθρώπινο σώμα και αφετέρου, σε όρθια στάση δεν έχουμε σταθερή κατανομή των υγρών στο προς εξέταση μέρος του σώματος. Επίσης, οι αναλυτές αυτοί ως επί το πλείστον μετρούν μόνο την ωμική αντίσταση, αντί της εμπέδησης. Παρόλα αυτά, με ένα χαμηλό κόστος και με πολύ απλό τρόπο μπορούμε να έχουμε μια σχετικά καλή εκτίμηση του σωματικού λίπους. Τα πιο ακριβή όργανα μέτρησης της βιοηλεκτρικής

εμπέδησης είναι αυτά που χρησιμοποιούν τέσσερα ηλεκτρόδια (tetrapolar), τα δύο είναι συνδεδεμένα με την πηγή και τα άλλα δύο ανιχνεύουν την εμπέδηση (18).



Εικόνα 3.7: Όργανα μέτρησης της βιοηλεκτρικής αντίστασης μόνο των κάτω άκρων (αριστερά) και της βιοηλεκτρικής εμπέδησης άνω-κάτω άκρων και ολόκληρου του σώματος (δεξιά)

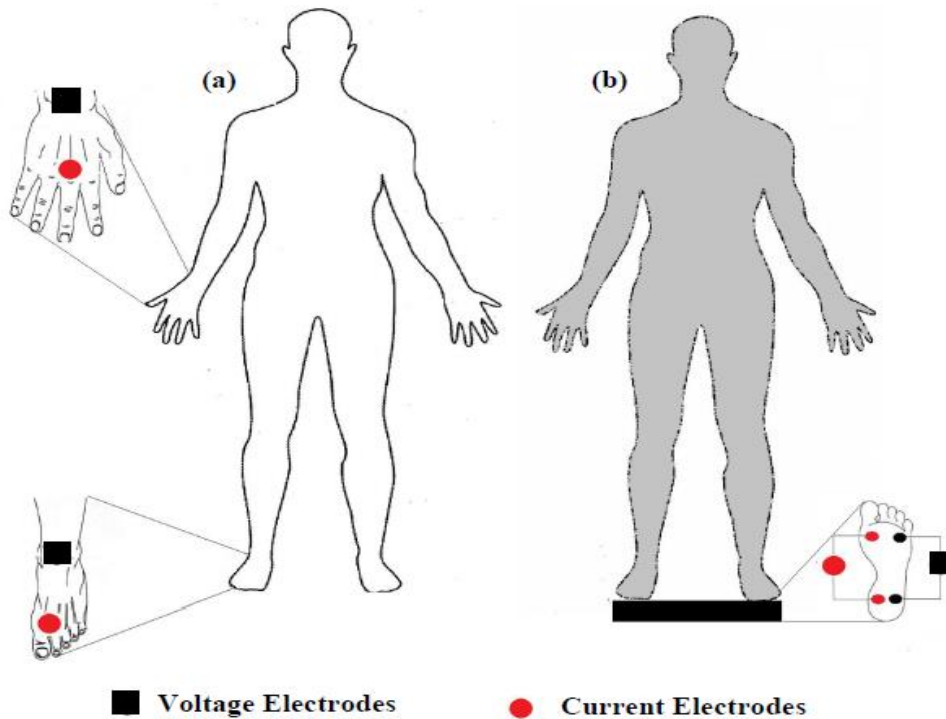
### 3.7 Μέθοδοι μέτρησης ολόσωμης βιοηλεκτρικής εμπέδησης

Η μέτρηση ολόσωμης βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρον για την εκτίμηση της σύστασης του σώματος. Πολλά από τα όργανα μέτρησης της ολόσωμης βιοηλεκτρικής εμπέδησης παρέχουν την δυνατότητα τριών ειδών προσέγγισης, ενώ κάθε μέθοδος για την εξαγωγή των ολόσωμων αποτελεσμάτων χρησιμοποιεί:

- το χέρι και το πόδι (hand to foot method) (39), (40)
- τα δύο πόδια (foot to foot method) (41), (42) ή
- τα δύο χέρια (hand to hand method) (43), (44)

Η πρώτη μέθοδος (Εικόνα 3.8α), η οποία είναι και αυτή που χρησιμοποιείται περισσότερο, εισήχθη από τον Hooper (45) και αργότερα αναθεωρήθηκε από τον Nyboer (46) ο οποίος μείωσε την αντίσταση επαφής μεταξύ του δέρματος και των ηλεκτροδίων. Τελικά, επικυρώθηκε από τον Lukaski (47) μέσω μετρήσεων σε 140 φυσιολογικούς ενήλικες.

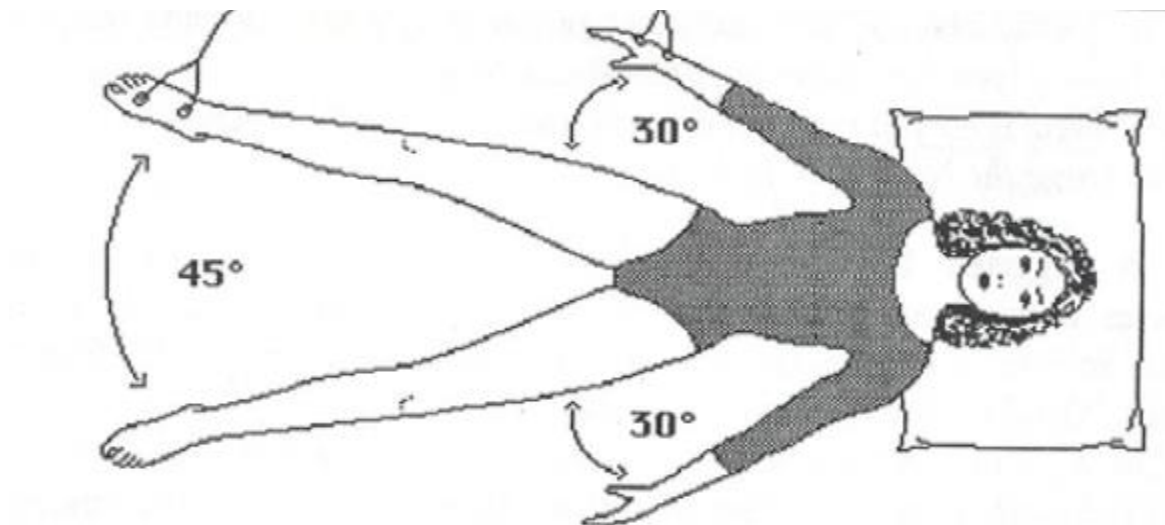
Οι μετρήσεις μεταξύ χεριού-ποδιού, με χρήση τεσσάρων ηλεκτροδίων, πραγματοποιούνται με το άτομο σε ύπτια θέση και τοποθετώντας ηλεκτρόδια με υδατική γέλη (gel) για να ελαχιστοποιηθεί η σύνθετη αντίσταση του κενού, στις ραχιαίες επιφάνειες του δεξιού χεριού και του ποδιού (48). Οι μετρήσεις μεταξύ των ποδιών (Εικόνα 3b), εισήχθησαν από τον Nuñez και τους συνεργάτες του (49), μέσω της χρήσης ηλεκτροδίου πίεσης που έρχεται σε επαφή με το πόδι. Σε αυτήν την κατηγορία μετρήσεων, το άτομο στέκεται κατακόρυφα, με ακάλυπτα πόδια, σε τέσσερα ηλεκτρόδια από ανοξείδωτο χάλυβα ενώ το κάθε πόδι διαιρείται σε μετωπικό και οπίσθιο τμήμα για να γίνει μέτρηση τάσης όταν το πόδι διαρρέεται από ρεύμα (42). Οι μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης μεταξύ των χεριών εισήχθησαν από τον Ghosh και τους συνεργάτες του (44), εκτελώντας αναλύσεις σύνθεσης σώματος χρησιμοποιώντας φορητό μετρητή αντιστάσεων σε άτομα με υποσιτισμό. Κατά την διάρκεια της μέτρησης, οι παλάμες κρατούσαν την συσκευή ενώ και οι δύο βραχίονες εκτείνονταν οριζόντια μπροστά από το σώμα (31).



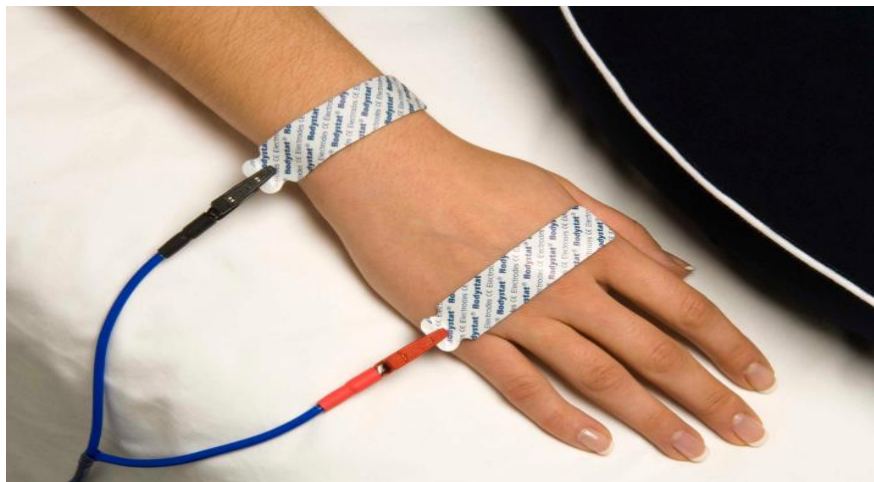
Εικόνα 3.8: Αναπαράσταση της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων για μέτρηση ολόσωμης βιοηλεκτρικής εμπέδησης με την μέθοδο α) χέρι-πόδι και β) πόδι-πόδι

### 3.8 Το πρωτόκολλο μέτρησης

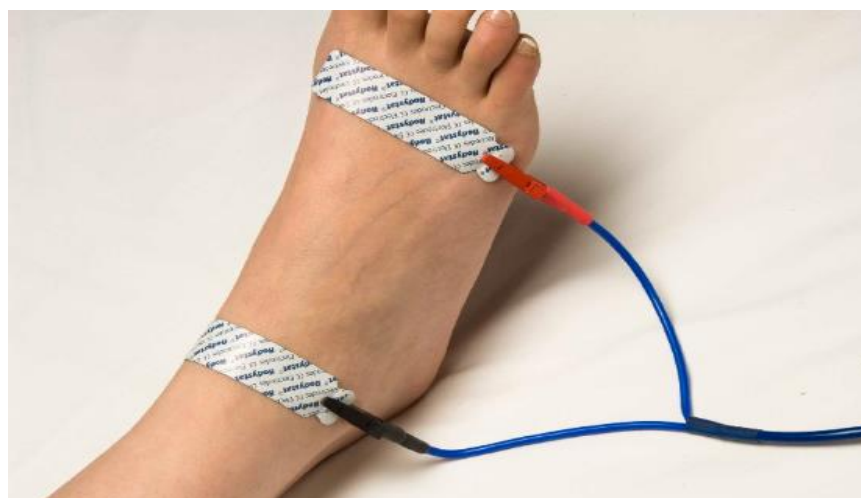
Ο εξεταζόμενος πρέπει να βρίσκεται ξαπλωμένος πάνω σε μη αγώγιμη επιφάνεια για πέντε περίπου λεπτά πριν τη μέτρηση και όχι πάνω από δέκα λεπτά. Τα χέρια του πρέπει να σχηματίζουν γωνία  $30^\circ$  με τον κορμό και τα πόδια του γωνία  $45^\circ$  μεταξύ τους (Εικόνα 3.9). Επίσης, δεν πρέπει να φορά μεταλλικά αντικείμενα, όπως ρολόι ή κοσμήματα, διότι αυτά μπορούν να άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα και να επηρεάσουν την αντίσταση που θα μετρήσει το όργανο. Σημαντικό είναι πως από τις μετρήσεις εξαιρούνται έγκυες γυναίκες καθώς και άτομα με μεταλλικά εμφυτεύματα στο σώμα τους, όπως λάμες, βίδες κτλ. Η τοποθέτησή των ηλεκτροδίων γίνεται στις πάνω επιφάνειες του ποδιού και του χεριού όπως παρουσιάζεται στις Εικόνες 3.10 και 3.11. Η συνιστώμενη απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων είναι της τάξης των 5 cm για να αποφευχθεί η ηλεκτρική αλληλεπίδραση μεταξύ των ζευγών ηλεκτροδίων (50), (51) και για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος υπερεκτίμησης των τιμών αντίστασης (52).



Εικόνα 3.9: Η σωστή τοποθέτηση του σώματος για μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης



Εικόνα 3.10: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο χέρι



Εικόνα 3.11: Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο πόδι

Εξίσου σημαντικό με την σωστή τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο χέρι και στο πόδι, είναι το πρωτόκολλο που αφορά την υδατική κατάσταση του ατόμου. Στην ιδανική περίπτωση, ο συμμετέχοντας στην μέτρηση δεν συνίσταται να:

- έχει προβεί στην λήψη τροφής ή νερού για τουλάχιστον 3 ώρες πριν την μέτρηση
- έχει ασκηθεί τις τελευταίες 12 ώρες πριν την μέτρηση
- έχει καταναλώσει αλκοόλ ή καφεΐνη πριν την μέτρηση

### 3.9 Πόσο ασφαλής είναι η μέθοδος BIA

Η διαδικασία μέτρησης μέσω της τεχνικής BIA, θεωρείται ασφαλής λόγω πολλών παραγόντων. Βασικό σημείο είναι ότι τα ρεύματα με συχνότητα 50 kHz αναφέρονται ως απίθανο να



διεγείρουν ηλεκτρικά διεγερτικούς ιστούς, όπως νεύρα ή καρδιακούς μυς, ενώ η απουσία αναφορών για δυσμενή γεγονότα που προκαλούνται από την BIA, ακόμη και κατά τη διάρκεια χιλιάδων ατόμων που υποβάλλονται σε μετρήσεις ενισχύει την παραπάνω άποψη. Ένας τρίτος παράγοντας είναι ότι συμμετέχουν σχετικά μικρά ρεύματα, μικρότερα από 1 mA, τα οποία είναι μικρότερα από το όριο της αντίληψης για τον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, η χρήση μπαταριών ή πηγών ενέργειας χαμηλής τάσης μειώνει σημαντικά τους κινδύνους από macroschock (δηλαδή την έκθεση του σώματος στο ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμό ή θάνατο από ηλεκτροπληξία).

Ωστόσο, δεν έχουν αξιολογηθεί ρητά ή επισήμως όλα τα θέματα ασφάλειας που ενδέχεται να προκύψουν όταν εμπλέκονται πρόσθετες συσκευές όπως ένας εμφυτευμένος καρδιακός απινιδωτής. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως το εισερχόμενο ρεύμα στη διαδικασία BIA, είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος από ότι τα ρεύματα διαρροής που επιτρέπονται για ορισμένες άλλες ιατρικές συσκευές, όπως μηχανές ηλεκτροκαρδιογράφων (αν και αυτό το ρεύμα διαρροής περιλαμβάνει τη συχνότητα των 60 Hz, η οποία θεωρείται ότι έχει πιο εγγενές κίνδυνο). Έτσι προτείνεται, οποιοσδήποτε έχει εμφυτευμένο απινιδωτή να αποφύγει την αξιολόγηση της σύστασης του σώματος μέσω μετρήσεων BIA έως ότου αναθεωρηθεί αυτό το ζήτημα, διότι ακόμη και μικρά ρεύματα θα μπορούσαν ενδεχομένως να προκαλέσουν λανθασμένη αντίδραση του απινιδωτή (21).

### **3.10 Ο ρόλος της BIA στο κλινικό περιβάλλον**

Η γνώση της σύνθεσης του σώματος, τόσο σε υγιή άτομα όσο και σε άτομα που νοσούν, είναι μεγάλης σημασίας για τους κλινικούς ιατρούς λόγω του ότι τα συστατικά του σώματος συχνά παρέχουν πιο χρήσιμες πληροφορίες από ότι οι μετρήσεις ολόκληρου του σώματος για το βάρος, το ύψος αλλά και για τον δείκτη μάζας σώματος. Μια εκθετική αύξηση των πληροφοριών κατά την τελευταία δεκαετία, όπως αντικατοπτρίζεται στον αριθμό των δημοσιεύσεων, επιβεβαιώνει αυτή την αυξανόμενη έμφαση.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της BIA προσεγγίζουν σε πολύ καλό βαθμό τη συνολική ποσότητα νερού στο σώμα. Χρησιμοποιώντας τις τιμές του TBW που προέρχονται από τις μετρήσεις BIA μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή του FFM και του λίπους. Επειδή όμως η BIA θεωρεί δυσανάλογα τα άκρα, η σχέση μεταξύ σύνθετης αντίστασης και TBW πρέπει αναγκαστικά να είναι μια εμπειρική σχέση. Αυτό θέτει έναν σημαντικό περιορισμό στην παραγόμενη τιμή καθώς το TBW πρέπει να μεταβληθεί στον κορμό και τα άκρα με μια συγκεκριμένη σχέση σε υγιείς και ασθενείς προκειμένου να διατηρηθεί η προγνωστική αξία.

Αυτός ο συσχετισμός πιθανότατα υπάρχει στα περισσότερα φυσιολογικά άτομα και σε εκείνα τα άτομα που χαρακτηρίζονται με ήπια έως μέτρια παχυσαρκία, συμπεριλαμβανομένου των

ατόμων με μη φλεγμονώδεις ασθένειες, όπως ο διαβήτης και άλλες χρόνιες ασθένειες που δεν προκαλούν τοπική συσσώρευση υγρών. Επιπροσθέτως, η συσχέτιση φαίνεται να έχει αξία και στην πρώιμη λοίμωξη HIV για να εκτιμηθεί η διατροφική κατάσταση. Ωστόσο, σε καταστάσεις όπως ο ασκίτης, το περιφερικό οίδημα αλλά και σε περιπτώσεις ατόμων με πολλαπλά τραύματα, εγκαύματα ή σήψη, η προκύπτουσα διαταραχή στην κατανομή του νερού γενικώς ακυρώνει τις υποθέσεις της ανάλυσης με μεθόδους βιοηλεκτρικής αντίστασης. Επίσης, η BIA δεν φαίνεται να είναι χρήσιμη μέθοδος για την εκτίμηση των αλλαγών του βάρους λόγω δίαιτας σε παχύσαρκα άτομα, πιθανώς λόγω της δυσανάλογης απώλειας νερού έναντι του FFM.

Όταν λαμβάνονται υπόψη τα άλλα χαρακτηριστικά της μεθόδου όπως η ευκολία μέτρησης, η μικρή συγκριτικά δαπάνη, η ασφάλεια, η φορητότητα του μετρητικού εξοπλισμού και η αναπαραγωγικότητα των μετρήσεων, η BIA προτιμάται συχνά έναντι πιο σύνθετων υλικοτεχνικών τεχνικών όπως είναι οι μετρήσεις TBW ή η πυκνομετρία.

Η αξία της τεχνικής BIA στην εκτίμηση της σωματικού ποσοστού λίπους, τόσο σε κλινική βάση σε μεμονωμένο άτομο όσο και επιδημιολογικά σε μεγάλες ομάδες ατόμων για τον προσδιορισμό της παρουσίας ή της επικράτησης της παχυσαρκίας, αντίστοιχα, είναι αξιόλογη. Η BIA φαίνεται να είναι ένα ακριβέστερο μέτρο των FFM και του ποσοστού σωματικού λίπους συγκριτικά με το σωματικό βάρος, το ύψος ή το δείκτη μάζας σώματος και με ελάχιστο επιπλέον κόστος ή δυσκολία, αλλά με κάπως μεγαλύτερη πολυπλοκότητα.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης πως η BIA μπορεί να παρέχει μια πιο ακριβή μέτρηση του λίπους από ότι οι μετρήσεις των δερματοπτυχών, αν και οι μετρήσεις των πτυχών του δέρματος και των περιφερειών μπορεί να παρέχουν πρόσθετες χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαμόρφωση του σωματικού λίπους. Λόγω της ευρείας διαθεσιμότητας των μετρητών BIA και της σχετικής ευκολίας χρήσης τους, υπάρχει ανησυχία ότι οι μετρήσεις BIA πρέπει να εκτελούνται σε κατάλληλο περιβάλλον από εκπαιδευμένο προσωπικό τόσο για τη χρήση οργάνων όσο και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η BIA σε ασθενείς που υποβάλλονται σε αιμοκάθαρση (21). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο ρόλος της μεθόδου στη συνταγογράφηση και την παρακολούθηση της επάρκειας της αιμοκάθαρσης, για την οποία η κινητική προσομοίωση της ουρίας έχει γίνει το κοινό πρότυπο καθώς αυτό το μοντέλο απαιτεί ακριβή εκτίμηση του TBW, που μπορεί να παρέχεται από την BIA. Η BIA μπορεί επίσης να έχει αξία στην αξιολόγηση της κατάστασης όγκου υγρών στον ασθενή με αιμοκάθαρση, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα κοινά προβλήματα που σχετίζονται με τον ανακριβή προσδιορισμό τους. Η γνώση του TBW μπορεί επίσης να χρησιμεύσει για τη βελτίωση της ερμηνείας της φαρμακοκινητικής του φαρμάκου.

Στο νοσοκομειακό περιβάλλον, ιδιαίτερα μεταξύ των ασθενών που βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση, ο ρόλος της BIA δεν έχει καθοριστεί σαφώς. Οι διαταραχές του ενδοκυττάριου νερού είναι γνωστό ότι είναι χαρακτηριστικές του υποσιτισμού σε πρωτεϊνικές θερμίδες ενώ οι αλλαγές στην αναλογία ενδοκυττάριου προς εξωκυττάριο νερό συμβαίνουν πάντα μετά από τραυματισμό ή φλεγμονή. Αυτές οι δύο συνθήκες γενικά συνυπάρχουν σε ασθενείς που βρίσκονται σε κρίσιμη κατάσταση. Επομένως, οι άμεσες ή έμμεσες μετρήσεις του TBW δεν αντανακλούν αξιόπιστα τα FFM.

Ωστόσο, ο Raimann και οι συνεργάτες (53) του καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι, η ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην κλινική ιατρική για την παρακολούθηση του σωματικού υγρού και των διατροφικών δεικτών όπως η μυϊκή μάζα. Τα σφάλματα ακρίβειας πρέπει να καταμετρούνται προσεκτικά καθώς η τεχνική δεν αποτελεί τεχνική αναφοράς (gold standard) αλλά παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα στην κλινική πράξη κυρίως λόγω της ευκολίας της μέτρησης.

### **Περαιτέρω χρήσεις της μεθόδου BIA**

Η μέθοδος BIA είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος καθώς μας παρέχει πληθώρα πληροφοριών για την σύσταση του ανθρώπινου σώματος και όπως αναφέρθηκε και παραπάνω κατέχει σημαντικό ρόλο και στην κλινική πράξη. Συγκεκριμένα με μια ανασκόπηση στην βιβλιογραφία είναι φανερός ο ρόλος της μεθόδου σε ποικίλους τομείς.

Στη διατροφή: περιγραφή της ανάπτυξης παιδιών και της ανάπτυξης από τη γέννηση έως την ενηλικίωση των ατόμων, την κατανόηση της αναπτυξιακής προέλευσης της υγείας και των ασθενειών, την κατανόηση της διατροφής στη δημόσια υγεία και το σχεδιασμό διατροφικών στρατηγικών σε επίπεδο πληθυσμού, τη φυσιολογία της γήρανσης, τον αντίκτυπο των ασθενειών και την παρακολούθηση των θεραπευτικών παρεμβάσεων (54).

Στον καρκίνο του προστάτη: Ο καρκίνος του προστάτη είναι η κύρια αιτία θανάτου από καρκίνο στους άνδρες σε όλο τον κόσμο. Ένα κοινό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τόσο οι κλινικοί ιατροί όσο και οι ασθενείς είναι ότι, η κακοήθεια του προστάτη δεν προκαλεί συμπτώματα μέχρι να υπάρξει κάποια μετάσταση ή να γίνει τοπικά προχωρημένη. Το ειδικό αντιγόνο του προστάτη (PSA), αποτελεί ένα από τα σημαντικά εργαλεία διαλογής είναι ωστόσο αμφιλεγόμενο, καθώς η χαμηλή προγνωστική του αξία οδηγεί σε μεγάλο αριθμό περιττών βιοψιών προστάτη. Η μέθοδος BIA στην παρούσα κατάσταση με την διερεύνηση της γωνίας φάσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο ανίχνευσης και πρόγνωσης σε ιστολογικά αποδεδειγμένο καρκίνο του προστάτη όπως έχει μελετηθεί από την Tyagi και τους συνεργάτες της (55).

Στην μετεγχειρητική παρακολούθηση ασθενών: παραδείγματος χάριν η Stagen και οι συνεργάτες της (56), μελέτησαν την επίδραση της άσκησης σε παχύσαρκους ασθενείς, οι

οποίοι χειρουργήθηκαν για γαστρική παράκαμψη (gastric bypass surgery). Οι ερευνητές ήθελαν να προσδιορίσουν κατά πόσο η σωματική άσκηση μετά το χειρουργείο επιφέρει βελτίωση στην φυσική κατάσταση των ατόμων αυτών καθώς μόνο η απώλεια βάρους δεν συνεισφέρει σημαντικά. Τελικά, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ένα πρόγραμμα άσκησης κατά τους πρώτους μήνες μετά τη χειρουργική επέμβαση είναι αποτελεσματικό. Η παρακολούθηση των ασθενών όσον αφορά το σωματικό λίπος, την ποσότητα υγρών του σώματος αλλά και της άλιπης μάζας έγινε με την μέθοδο BIA και τον αναλυτή Bodystat 1500 MDD.

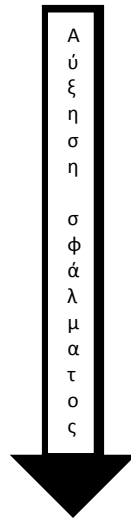
Στη διάγνωση λεμφοιδήματος άνω άκρου: τόσο στη διάγνωση του λεμφοιδήματος όσο και στην παρακολούθηση της ανταπόκρισης στη θεραπεία εκτός από την μέθοδο που προσδιορίζει τον όγκο του άνω άκρου (Optoelectronic limb volumeter ή infrared perometry) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης η οποία ανιχνεύει την ποσότητα εξωκυττάριου υγρού στον βραχίονα. Η συσκευή BIA διοχετεύει στο άτομο ένα μικρό, ανώδυνο ηλεκτρικό ρεύμα και μετρά την αντίσταση. Όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα υγρών στους χώρους μεταξύ των ιστών, τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση. Θεωρείται ότι η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι πολύ χρήσιμη για την διάγνωση του λεμφοιδήματος, ακόμη και πριν εμφανιστούν οποιαδήποτε συμπτώματα. Την διάγνωση του λεμφοιδήματος με την χρήση αυτών των δύο τεχνικών μελέτησαν ο Dylke και οι συνεργάτες του (57)

### 3.11 Οι περιορισμοί της τεχνικής BIA

Η ποσοτική εκτίμηση της σύνθεσης του σώματος με τη χρήση της BIA είναι έμμεση τεχνική. Η BIA δεν μετρά τη σύνθεση του σώματος αλλά την ηλεκτρική απόκριση του σώματος δηλαδή την αντίσταση, όταν εκτίθενται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η μετρηθείσα αντίσταση στη συνέχεια μετασχηματίζεται σε μια πρόβλεψη του TBW με έναν αλγόριθμο που ενσωματώνει σε κάποια μορφή τη σχέση που δίνεται από την εξίσωση  $V = \rho \frac{L^2}{R}$ .

Με τον τρόπο αυτό οδηγούμαστε αναγκαστικά στην υποβολή μιας τιμής για ειδική αντίσταση η οποία προσδιορίζεται στην περίπτωση της BIS. Η ειδική αντίσταση δεν είναι σταθερή για όλους τους ιστούς του σώματος και τις περιοχές με συσσώρευση υγρών (58). Η τιμή που χρησιμοποιείται σε αυτούς τους αλγόριθμους είναι ο μέσος όρος ολόκληρου σώματος. Περαιτέρω υποθέσεις επικαλούνται εάν απαιτούνται παράμετροι σωματικής σύνθεσης εκτός του TBW. Η άλιπη μάζα σώματος υπολογίζεται με την παραδοχή ενός κλάσματος ενυδάτωσης για FFM 0.73, για υγιή ενήλικα. Οι τιμές για τις φαινομενικές αντιστάσεις και τα κλάσματα ενυδάτωσης είναι οι μέσες τιμές του πληθυσμού που εισάγονται στους αλγόριθμους πρόβλεψης αλλά εφαρμόζονται σε μετρήσεις σύνθετης αντίστασης σε ένα άτομο.

Αναπόφευκτα, η ακατάλληλη χρήση συντελεστών και η εκτίμηση των παραμέτρων σύνθετης αντίστασης συμβάλλουν στην αύξηση του σφάλματος πρόβλεψης (Σχήμα 1).



#### Τεχνικές εμπέδησης

- Μέτρηση ποσοτήτων (π.χ. αντιστάσεις R, Z, Xc σε Ω)
- Εκτίμηση άλλων ποσοτήτων (π.χ. την αντίσταση σε μηδενική συχνότητα στην φασματοσκοπία βιοηλεκτρικής εμπέδησης- BIS)
- Υπόθεση της τιμής συντελεστών (π.χ. η ειδική αντίσταση του νερού του σώματος)
- Εφαρμογή των μέσων τιμών του πληθυσμού σε μεμονωμένα άτομα
- Πρόβλεψη της σύνθεσης του σώματος μέσω αλγορίθμων

Σχήμα 1: Η σύνθεση σώματος προβλέπεται έμμεσα από μετρήσεις σύνθετης αντίστασης. Τα όργανα σύνθετης αντίστασης μετράνε την ηλεκτρική αντίσταση του σώματος. Η μετρούμενη αντίσταση στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της σύστασης του σώματος, μια διαδικασία που επικαλείται υποθέσεις και εκτιμήσεις, οι οποίες θα συμβάλλουν στο σφάλμα της πρόβλεψης

Πρέπει να αναγνωριστεί ότι οι τεχνικές σύνθετης αντίστασης είναι πιθανόν να είναι εγγενώς λιγότερο ακριβείς από τις μεθόδους αναφοράς. Επιπλέον, εάν το σωματικό λίπος είναι το μέτρο ενδιαφέροντος, αυτό συνήθως καθορίζεται από την αφαίρεση του προβλεπόμενου FFM από το μετρούμενο σωματικό βάρος. Αυτό, εκτός από την περίπτωση υπερβολικά υψηλού ποσοστού σωματικού λίπους, σημαίνει την αφαίρεση μεγάλης ποσότητας (FFM) από μια μεγαλύτερη ποσότητα, το σωματικό βάρος, για τον προσδιορισμό μιας αναλογικά μικρότερης ποσότητας (FM). Όπου το ποσοστό του σωματικού λίπους είναι χαμηλό, το σφάλμα που σχετίζεται με τις εκτιμήσεις FFM, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα σφάλματα στην πρόβλεψη της FM (59).

## **Κεφάλαιο 4: Παράγοντες επιρροής των μετρήσεων βιοηλεκτρικής εμπέδησης**

Τα αποτελέσματα που μας δίνουν οι μετρήσεις BIA επηρεάζονται σημαντικά από πληθώρα παραγόντων όπως από τις ανθρωπομετρικές μετρήσεις, το φύλο, την ηλικία, την εθνικότητα, το πρωτόκολλο μέτρησης και την στάση του σώματος καθώς επίσης και από το σχήμα των ηλεκτροδίων και τα σφάλματα μέτρησης. Ανάλυση όλων αυτών των παραγόντων θα γίνει εκτενώς παρακάτω.

### **4.1 Ανθρωπομετρικές μετρήσεις**

Οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις όπως το βάρος, το ύψος, το πάχος της πτυχής του δέρματος, τα μήκη, οι διάμετροι και οι περιφέρειες που περιλαμβάνουν μαθηματικές σχέσεις είναι οι κύριοι συντελεστές στην εκτίμηση των διαμερισμάτων σώματος (60), (61).

Συγκεκριμένα ο ακριβής προσδιορισμός ύψους και βάρους, επηρεάζει την εκτίμηση της σύστασης του σώματος. Κατά την εφαρμογή της εξίσωσης για την πρόβλεψη του TBW που αναπτύχθηκε από τους Kushner και τους συνεργάτες του (62), μια υπερεκτίμηση ή υποτίμηση της τάξης των 2.5 cm στο ύψος οδηγεί σε σφάλμα 1.0 L στην εκτίμηση του TBW. Ομοίως, σφάλμα 1 kg στο βάρος έχει ως αποτέλεσμα ένα σφάλμα της τάξης των 0.2 L στο προβλεπόμενο TBW και ένα σφάλμα 0.7 kg στο σωματικό λίπος. Επομένως, για να βελτιωθεί η ακρίβεια των μετρήσεων BIA, τα άτομα θα πρέπει να έχουν κατακόρυφο ανάστημα μετρημένο με ακρίβεια 0.5 cm και βάρος μετρούμενο με ακρίβεια 0.1 kg, ενώ οι αυτο-αναφορές θα πρέπει να αποφεύγονται. Επίσης για τον προσδιορισμό των περιφερειών απαιτείται ακρίβεια 0.1 cm.

### **4.2 Φύλο**

Οι μεταβολές της σωματικής σύστασης μεταξύ ανδρών και γυναικών αποδείχθηκαν σε αρκετές μελέτες. Στην πρόβλεψη της σύνθεσης του σώματος, οι μέθοδοι που βασίζονται στην ανάλυση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης αλλά και οι περισσότερες εξισώσεις τείνουν να περιλαμβάνουν το φύλο ως έναν από τους κύριους και καθοριστικούς παράγοντες για την αξιολόγηση των διαμερισμάτων σώματος (63), (64).

Οι μελέτες της FFM δείχνουν ότι τα αρσενικά άτομα έχουν μεγαλύτερο FFM από τα θηλυκά, με διαφορετικά εύρη τιμών. Ο Kyle και οι συνεργάτες του (65), δηλώνουν ότι η μέση τιμή FFM είναι 8.9 κιλά για τους άνδρες και 6.2 kg για τις γυναίκες και ο δείκτης λιπώδους μάζας ο οποίος αυξάνεται και με βάση την ηλικία, κυμαίνεται στις γυναίκες από 5.6 έως 9.4 και στους άνδρες από 3.7 έως 7.4. Σε μια πρόσφατη μελέτη (66), η οποία διεξήχθη σε 1649 υγιή παιδιά-ενήλικες (6-18 ετών) και 925 ενήλικες (19-92 ετών) χρησιμοποιώντας BIA και DXA, προέκυψε το συμπέρασμα ότι για όλες τις ηλικιακές ομάδες τα αρσενικά έχουν λιγότερη μάζα λίπους (FM) και περισσότερη μάζα μη λίπους (FFM), από τα θηλυκά.

Το TBW ήταν κατά μέσο όρο το 73.2% της μάζας του μη λίπους στον υγιή πληθυσμό. Ωστόσο, αρκετές μελέτες δείχνουν ότι τα αρσενικά άτομα έχουν λιγότερο TBW από τα θηλυκά (67). Ο Sun και οι συνεργάτες του (64), δήλωσαν ότι σε μια εξίσωση πρόβλεψης μικτών εθνοτικών ομάδων, ο όγκος TBW για άνδρες αρχίζει από 1.2 L σε σύγκριση με 3.75 L για τις γυναίκες.

Λόγω της διαφορετικής σωματικής σύστασης μεταξύ ανδρών και γυναικών, οι εκτιμήσεις για το φύλο έχουν ισχυρό αντίκτυπο στην εκτίμηση των συστατικών του σώματος.

### 4.3 Ηλικία

#### A) Ενήλικες

Η γήρανση ορίζεται ως μια μεταβολή πολλών παραγόντων στις φυσικές και βιολογικές δραστηριότητες του ανθρώπινου σώματος που οδηγεί σε διαφορές στη σύνθεση του σώματος μεταξύ των ηλικιακών ομάδων. Όταν το ανθρώπινο σώμα γερνάει, σταδιακά παρατηρείται αύξηση της λιπώδους μάζας και αυθόρμητη μείωση της άπαχης μάζας. Η μάζα λίπους αυξάνεται σταδιακά σε απόκριση της αύξησης της ηλικίας και παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση του μέσου βάρους μεταξύ του ηλικιωμένου πληθυσμού σε σύγκριση με τους ενήλικες, κάτι που σχετίζεται με την αύξηση της λιπώδους μάζας (65). Σε μερικές μελέτες (68), οι γενικές εξισώσεις πρόβλεψης σύνθεσης σώματος δεν ήταν ικανοποιητικές σε ηλικιωμένους άνδρες άνω των 75 ετών, ειδικά για την εκτίμηση του TBW.

Αρκετές μελέτες διεξήχθησαν με τη χρήση της μεθόδου BIA τόσο σε ενήλικες όσο και σε πρεσβυτέρους (69), (70). Η απώλεια μάζας μυών στους ηλικιωμένους μειώνει τη μάζα μη λίπους σε μια ορισμένη ηλικία, ακολουθούμενη από μειώσεις στο συνολικό νερό του σώματος και την οστική μάζα (71). Η Marja και οι συνεργάτες της (70), ανέφεραν ότι στους Σουηδούς ηλικίας 75 ετών, ο μέσος δείκτης μάζας μη λίπους (FFM) ήταν 15.6 και 18.3 ενώ ο δείκτης σωματικού λίπους ήταν 11.0 και 8.6 για γυναίκες και άνδρες, αντίστοιχα, σε σύγκριση με τη μέθοδο DXA.

## Β) Παιδιά

Η διαδικασία επικύρωσης των εξισώσεων BIA μονής συχνότητας είναι πιο δύσκολη στα παιδιά από ότι στους ενήλικες, λόγω του ότι το κλάσμα ενυδάτωσης αλλάζει καθ' όλη την παιδική ηλικία. Οι μεταβολές του σχετικού μήκους των άκρων και του κορμού κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης μπορεί να επηρεάσουν τη σχέση μεταξύ TBW ή FFM και  $\frac{Ht^2}{R}$  ή Z (72). Επιπλέον, οι μεταβολές στη σχετική γεωμετρία σώματος μεταξύ ανθρώπων διαφορετικής εθνικότητας συγχέουν τη σχετική κατανομή μεταξύ του βάρους και του κλάσματος αντίστασης / σύνθετη αντίσταση άκρων και κορμού στο μοντέλο BIA (73). Στους ενήλικες, ο κορμός αντιπροσωπεύει το 75% της σωματικής μάζας αλλά μόνο το 9% περίπου της συνολικής σύνθετης αντίστασης. Από την άλλη πλευρά, τα άνω και τα κάτω άκρα αποτελούν το 25% της σωματικής μάζας αλλά ευθύνονται για το 91% της συνολικής Z. Επομένως, οι εξισώσεις SF-BIA πρέπει να αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές που σχετίζονται με την αναλογία άλιπης μάζας προς  $Ht^2 / R$  κάτι που συμβαίνει με την ηλικία μεταξύ νεότερων και μεγαλύτερων παιδιών (74), (75).

Ωστόσο, πολλοί ερευνητές έχουν δημοσιεύσει άρθρα για τον προσδιορισμό της σωματικής σύστασης σε παιδική ηλικία. Παραδείγματος χάριν, από τον Einsenmann και τους συνεργάτες του (76), διεξήχθη μια έρευνα που αφορά 75 παιδιά (41 κορίτσια και 34 αγόρια) ηλικίας 3 έως 8 ετών. Η αντίσταση ολόκληρου του σώματος και η χωρική αντίσταση  $X_c$  μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας έναν αναλυτή βιοηλεκτρικής σύνθετης αντίστασης (RIL Systems, Model 101A, Detroit, MI). Η μονάδα βαθμονομήθηκε πριν από τη δοκιμή με τη χρήση της αντίστασης 500 Ω που παρέχεται από τον κατασκευαστή ενώ τα τέσσερα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν στον καρπό και τον αστράγαλο όπως υποδεικνύεται από το πρωτόκολλο. Η FFM προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση που δημοσιεύτηκε από τον Goran και τους συνεργάτες του (77), αλλά και ο προσδιορισμός του BF και της FM προέκυψαν αναλόγως. Βρέθηκε τελικά ότι, το ποσοστό του σωματικού λίπους ανέρχεται στα 16.8% με τυπική απόκλιση 3.3%, η μάζα μη λίπους (FFM) βρέθηκε ίση με  $(18 \pm 3.4)$  kg ενώ το λίπος (FM) προσδιορίστηκε ίσο με  $(3.8 \pm 1.5)$  kg.

Στα παιδιά, η μέθοδος BIA που χρησιμοποιεί την εξίσωση Deurenberg (78), υποτιμά το σωματικό λίπος όπως καθορίζεται από το DXA. Ωστόσο, επιτεύχθηκε καλύτερη συσχέτιση με τη μέθοδο μέτρησης των πτυχών του δέρματος (76).

## 4.4 Εθνικότητα

Η σύνθεση σώματος ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων φυλών και εθνοτικών ομάδων λόγω του περιβάλλοντος, των διατροφικών παραγόντων, του πολιτισμού και των ανθρωπομετρικών μετρήσεων που περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση του σώματος. Υπάρχει επίσης διαφορά στο



μήκος των άκρων, στη δομή του σώματος αλλά και στο μέγεθος του σώματος κάτι που οδηγεί σε διακύμανση των ποσοστών σωματικού λίπους μεταξύ διαφορετικών εθνοτικών ομάδων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα της τάξης των 3% (79).

Η πλειοψηφία των μελετών μέτρησης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης έχει γίνει σε Καυκάσιους (60). Ο Kotler (80), ο Sun (64) και οι συνεργάτες τους, έχουν συμπεριλάβει τους Αφροαμερικάνους και τους Ισπανούς στις μελέτες τους, ο Kim και οι συνεργάτες του, αξιολόγησαν την τμηματική άπαχη μάζα μεταξύ των Κορεατών (69) ενώ ο Nigam και οι συνεργάτες του, έχουν πραγματοποιήσει μια συγκριτική μελέτη μεταξύ δύο διαφορετικών ινδικών φυλών (81).

#### **4.5 Στάση σώματος και Χρόνος μέτρησης**

Μελέτες για την τετραπολική διάταξη των ηλεκτροδίων στην τεχνική BIA έχουν δείξει ότι η συνεισφορά του χεριού και του ποδιού αγγίζει περίπου το μισό της συνολικής αντίστασης του σώματος (Z), καθώς αυτά τα τμήματα του σώματος έχουν την μικρότερη διατομή. Ως εκ τούτου, αλλαγές υγρών που εντοπίζονται στα περιφερικά άκρα αναμένεται να συνεισφέρουν σημαντικά στην τιμή της ολόσωμης σύνθετης αντίστασης Z.

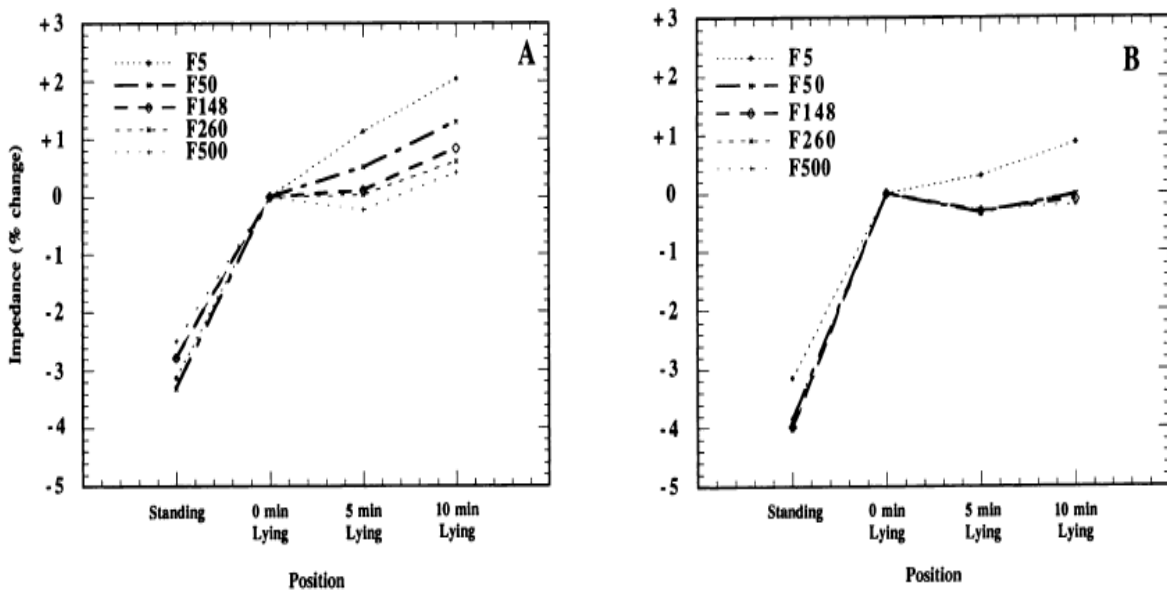
Ενώ ένα άτομο στέκεται σε όρθια στάση, κάθεται ή περπατά, οι βαρυτικές δυνάμεις τείνουν να απομονώσουν το ECW στα κάτω άκρα, ενώ όταν το άτομο ξαπλώνει σε ύπτια θέση, όπως όταν εκτελείται η μέτρηση BIA, το ενδιάμεσο υγρό απορροφάται στο ενδοαγγειακό σύστημα. Έτσι, μπορεί να υποθεθεί ότι οι χρονικές ορθοστατικές αλλαγές θα επηρέαζαν σημαντικά τις μετρήσεις της τεχνικής BIA.

Για την διερεύνηση της παραπάνω εικασίας, διεξήχθησαν δύο μελέτες ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση της θέσης του σώματος, της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων και του χρόνου στην τεχνική BIA πολλαπλών συχνοτήτων. Για αυτές τις έρευνες, οκτώ (μελέτη 1) και εννέα (μελέτη 2) υγιείς, κανονικού βάρους νέοι ενήλικες άνδρες και γυναίκες μετρήθηκαν το πρωί μετά από μια ολονύκτια νηστεία. Ενώ τα άτομα παρέμειναν όρθια, τοποθετήθηκαν τοπικά αυτοκόλλητα ηλεκτρόδια δέρματος σύμφωνα με το πρωτόκολλο για την τετραπολική δομή αλλά και σε εγγύς τμήματα του αντιβραχίου και κάτω ποδιού όπως περιγράφεται από τον Scheltinga και τους συνεργάτες του (82). Ένας αναλυτής αντίστασης (Xitron 4000, Xitron Technologies Inc. San Diego) χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση μιας συχνότητας σάρωσης από 5 έως 500 kHz.

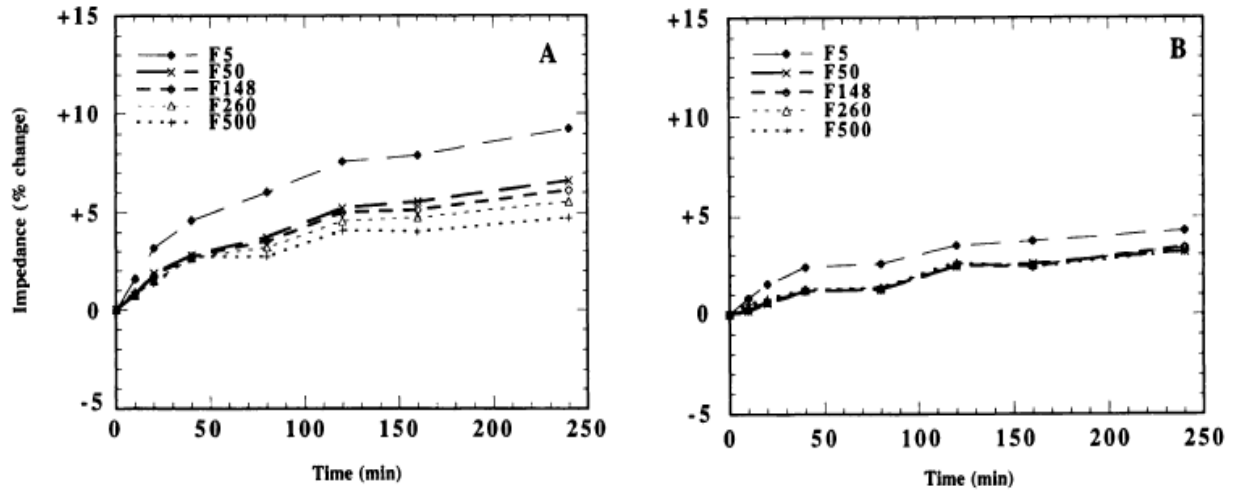
Στην πρώτη μελέτη, τα άτομα μετρήθηκαν ενώ στέκονταν για 15 λεπτά, αμέσως μόλις ξάπλωσαν σε ύπτια θέση και πάλι εφόσον είχαν περάσει 5 και 10 λεπτά. Αυτή η διάρκεια αντιπροσωπεύει τη συνηθισμένη περίοδο μέτρησης για τις περισσότερες έρευνες BIA που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Σε κάθε περίπτωση τα άτομα μετρήθηκαν δυο φορές και

υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών. Στη δεύτερη μελέτη, η πρώτη μέτρηση αποκτήθηκε μόλις τα άτομα ξάπλωσαν σε ύπτια θέση και οι μετέπειτα μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 10 λεπτά για την πρώτη ώρα, κάθε 20 λεπτά κατά τη δεύτερη ώρα και κάθε 40 λεπτά για τις υπόλοιπες 2 ώρες. Τα άτομα παρέμειναν σε ύπτια θέση στο κρεβάτι καθ'όλη την περίοδο των 4 ωρών. Αυτή η διάρκεια αντιπροσωπεύει συνθήκες που μπορεί να συναντηθούν στην ρουτίνα του νοσοκομείου.

Τα δεδομένα σύνθετης αντίστασης για πέντε επιλεγμένες συχνότητες (5, 50, 148, 260 και 500 kHz) επιλέχθηκαν για ανάλυση. Σε σύγκριση με τις μετρήσεις που έγιναν ενώ τα άτομα βρισκονταν σε όρθια στάση, οι μετρήσεις σύνθετης αντίστασης ολόκληρου του σώματος (είτε με χρήση της τετραπολικής δομής είτε με τοποθέτηση ηλεκτροδίων σε εγγύς τμήματα του αντιβραχίου και κάτω ποδιού) ήταν διαφορετικές αφού ξάπλωσαν τα άτομα και επίσης 5 και 10 λεπτά αργότερα (Εικόνα 4.1). Οι μεταβολές της σύνθετης αντίστασης σε ολόκληρη την περίοδο μέτρησης των 4 ωρών για τοποθετήσεις απομακρυσμένων και εγγύς ηλεκτροδίων φαίνονται στο Σχήμα 2. Ως μέσος όρος ομάδας, η ολόσωμη τιμή της Z με χρήση της τετραπολικής δομής ηλεκτροδίων αυξήθηκε αμέσως κατά 3%, με επακόλουθη αύξηση 2% μετά από 10 λεπτά. Επαναλαμβανόμενες μετρήσεις σε διάστημα 4 ωρών αποκάλυψαν ότι το Z συνέχισε να αυξάνεται επιπλέον 4%.



Εικόνα 4.1: Επίδραση της στάσης και του χρόνου στην ποσοστιαία μεταβολή της περιφερικής (A) και της εγγύς (B) τετραπολικής σύνθετης αντίστασης ολόκληρου του σώματος για πέντε επιλεγμένες συχνότητες (5, 50, 148, 260 και 500 kHz). Τα δεδομένα παρουσιάζονται για αλλαγή της σύνθετης αντίστασης από την όρθια στάση στην ύπτια μέχρι τα πρώτα 10 λεπτά



Εικόνα 4.2: Επίδραση της στάσης και του χρόνου στην ποσοστιαία μεταβολή της περιφερικής (A) και της εγγύς (B) τετραπολικής σύνθετης αντίστασης ολόκληρου σώματος για πέντε επιλεγμένες συχνότητες (5, 50, 148, 260 και 500 kHz). Τα δεδομένα εμφανίζονται για αλλαγή της σύνθετης αντίστασης αμέσως αφού ξάπλωσαν τα άτομα σε ύπτια θέση ( $t=0$ ) έως 4 ώρες

Χρησιμοποιώντας παρόμοιο σχεδιασμό μελέτης, ο Roos και οι συνεργάτες του (83), μέτρησαν την επίδραση των αλλαγών της στάσης του σώματος στην αντίσταση ( $R$ ) στα 50 kHz σε 10 υγιή αρσενικά άτομα. Οι μετρήσεις BIA πραγματοποιήθηκαν αφού ξάπλωσαν τα άτομα σε ύπτια θέση, μετά από 15, 30, 45 και 60 λεπτά και αφού τα άτομα επέστρεψαν στην όρθια θέση για 5 λεπτά. Μια μέση αύξηση της τάξης του 3% στην  $R$  (17  $\Omega$ ) παρατηρήθηκε μετά από 60 λεπτά. Ενώ παρατηρήθηκε μείωση της αρχικής τιμής της  $R$  αφού τα άτομα επανέλθουν σε όρθια στάση για 5 λεπτά (62).

#### 4.6 Επαφή μελών του σώματος

Στις ολόσωμες μετρήσεις BIA, τα τμήματα του σώματος θεωρείται ότι συνδέονται σε σειρά. Λόγω του γεωμετρικού τους σχήματος, τα άκρα συνεισφέρουν σχεδόν το 90% στην ολόσωμη τιμή της  $Z$ . Δημοσιευμένες εξισώσεις πρόβλεψης BIA βασίζονται στη θεώρηση πως τα τμήματα του σώματος συνδέονται σε σειρά. Έτσι διασταύρωση των άκρων θα "βραχυκυκλώσει" την ηλεκτρική διαδρομή, προκαλώντας ψευδείς χαμηλές τιμές  $Z$ . Αυτά τα σφάλματα κυμαίνονται από 18% για την επαφή των σταυρωμένων ποδιών, μέχρι 43% για την επαφή των χεριών με τη μέση (62).

## 4.7 Κατανάλωση φαγητού ή ροφημάτων

Η κατανάλωση τροφίμων ή υγρών πριν από τη διενέργεια μετρήσεων BIA θα μπορούσε να επηρεάσει το Z αλλάζοντας τους όγκους TBW και ECW. Ωστόσο, ανάλογα με το χρονικό σημείο της μέτρησης και την ποσότητα τροφής ή υγρού που λαμβάνεται, θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι ένα γεύμα θα μπορούσε να έχει μικρή ή καθόλου επίδραση στην πρόβλεψη του TBW. Ο εντοπισμός μέχρι 2 L υγρού μέσα στην κοιλιακή κοιλότητα έχει αποδειχθεί ότι είναι "ηλεκτρικά σιωπηλός". Οι μετρήσεις που λαμβάνονται αρκετές ώρες μετά την απορρόφηση του υγρού στην κυκλοφορία του αίματος, μπορούν να επηρεάσουν το Z ανάλογα με την αλλαγή του όγκου. Ωστόσο, αν υποθεθεί ότι ένας μέσος όρος TBW είναι 45 L σε νεαρούς ενήλικες άνδρες (60% σωματικού βάρους) και 32 L σε νεαρές ενήλικες γυναίκες (50% του σωματικού βάρους, αναμένεται μεταγευματική αύξηση του TBW κατά 2% και 3% στους νέους ενήλικες άνδρες και γυναίκες, αντίστοιχα.

Διάφοροι ερευνητές έχουν συγκρίνει μετρήσεις R ή Z πριν και μετά την κατανάλωση ποτών ή γεύματος. Σε μελέτη με 12 υγιείς άνδρες, ο Fogelholm και οι συνεργάτες του (84), μέτρησαν τις μεταβολές του R σε συχνότητα 50 kHz μετά από μια ολονύκτια νηστεία, 1 ώρα μετά το γεύμα και πάλι κάθε 1.5 ώρα για 7 ώρες. Αρχίζοντας 1 ώρα μετά από ένα γεύμα 2400 kJ χαμηλής ή υψηλής περιεκτικότητας ηλεκτρολυτών, το R αυξήθηκε αρχικά περίπου κατά 0.6%, ακολουθούμενη από μια μέση μείωση 0.8% που διήρκεσε αρκετές ώρες. Επίσης, ο Deurenberg και οι συνεργάτες του (85), αξιολόγησαν την επίδραση ενός γεύματος υγρής φόρμουλας (1950 kJ) ή διαφορετικών ποτών με χρήση BIA συχνότητας 50 kHz. Ο μέσος όρος Z ολόκληρου του σώματος μειώθηκε περίπου κατά 13-17 Ω σε 2-4 ώρες μετά το γεύμα, αντιπροσωπεύοντας μια αλλαγή 3.3% στο Z.

Η πρόσφατη λήψη ενός γεύματος ή ποτού φαίνεται να έχει ελάχιστη επίδραση στην ολόσωμη τιμή της Z κατά την πρώτη ώρα. Το βάρος, ωστόσο, θα αυξηθεί και έτσι το σωματικό λίπος μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Ανάλογα με την πειραματική κατάσταση, το Z μπορεί να μειωθεί από 4 έως 15 Ω σε περίοδο 2-4 ωρών μετά από ένα γεύμα, που γενικά αντιπροσωπεύει αλλαγή <3% στο Z (62).

## 4.8 Πρόσφατη άσκηση

Η άσκηση μπορεί να επηρεάσει τις μετρήσεις BIA με τουλάχιστον τρεις υποθετικούς μηχανισμούς.

- 1) Η αιμοδυναμική απόκριση στην άσκηση συνίσταται σε αυξημένη καρδιακή παροχή και ροή αίματος στους σκελετικούς μύες. Η αυξημένη αγγειακή αιμάτωση και η θέρμανση του μυϊκού ιστού θα μειώσει την αντίσταση Z και την ειδική μυϊκή αντίσταση ( $\rho$ ).

- 2) Η διαδικασία της διάχυσης της θερμότητας περιλαμβάνει αυξημένη δερματική ροή αίματος και αγγειοδιαστολή, αυξημένη θερμοκρασία δέρματος και εφίδρωση, αυτές οι αλλαγές συνεπάγονται μείωση της Z.
- 3) Οι αισθητές και μη αισθητές απώλειες υγρών έχουν ως αποτέλεσμα την αφυδάτωση άρα την απώλεια TBW και την αύξηση του Z.

Έτσι, οι μετρήσεις BIA θα πρέπει να ποικίλουν ανάλογα με τις εμπλεκόμενες μυϊκές ομάδες και την ένταση της άσκησης, την παραγωγή ροής και θερμότητας και την ποσότητα απώλειας ρευστού (62).

#### **4.9 Ηλεκτρόδια και σφάλματα μέτρησης**

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω (βλ. ενότητα 3.4) για τις μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης ο ελάχιστος αριθμός ηλεκτροδίων για την διεξαγωγή των μετρήσεων είναι δυο, ένα για την παροχή ρεύματος και άλλο ένα για την ανίχνευση της πτώσης τάσης ενώ πλέον χρησιμοποιείται κατά κόρον το σύστημα των τεσσάρων ηλεκτροδίων. Το υλικό αυτών είναι Ag-AgCl γιατί έχουν ένα καλά καθορισμένο DC δυναμικό ενώ το σχήμα τους κυκλικό ή ορθογώνιο επιφάνειας μεγαλύτερης των 4 cm<sup>2</sup>.

Τα σφάλματα στις μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης οφείλονται σε πολλούς παράγοντες, όπως η κίνηση, η λανθασμένη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων ή σφάλματα κατασκευής. Επιπλέον, η ποικιλία των διαθέσιμων στο εμπόριο αναλυτών βιοηλεκτρικής εμπέδησης προκαλεί ένα ευρύ φάσμα διακυμάνσεων στις μετρήσεις μεταξύ των συσκευών. Έτσι, θα πρέπει να διεξάγεται η βαθμονόμηση των συστατικών του αναλυτή όπως η γεννήτρια σημάτων, η συσκευή ανίχνευσης, οι κλίμακες βάρους και ύψους και οι ηλεκτρικές παρεμβολές, ώστε να εξασφαλίζεται η αξιοπιστία των αναλυτών αυτών.

#### **4.10 Πρωτόκολλα μέτρησης και στάση σώματος**

Η απλότητα και το χαμηλό σχετικά κόστος της μεθόδου ανάλυσης της βιοηλεκτρικής αντίστασης για την εκτίμηση της σύνθεσης του σώματος, έχουν αυξήσει την ανάγκη ενοποίησης των πρωτοκόλλων και των διαδικασιών των μετρήσεων της βιοηλεκτρικής αντίστασης για την ανάκτηση ισχυρών δεδομένων.

Για τη μέθοδο μέτρησης πόδι-πόδι (foot to foot method), οι μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης πραγματοποιούνται σε ύπτια θέση, με απαγωγή των άνω άκρων σε 30° και των κάτω άκρων έως 45° για 5 έως 10 λεπτά. Οι μελέτες δείχνουν ότι όταν η στάση μεταβάλλεται από την όρθια στάση σε ύπτια θέση σώματος, το ECV μειώνεται στα χέρια κατά 2.51% και τα πόδια κατά 3.02%, ενώ αυξάνεται στον κορμό κατά 3.2% (86). Η μη λήψη τροφής και υγρών

για τουλάχιστον 8 ώρες και το άδειασμα της ουροδόχου κύστης πριν από τις μετρήσεις συνιστώνται καθώς η κατανάλωση τροφής και ποτών μπορεί να μειώσει την αντίσταση κατά 4-15 Ω σε περίοδο 2-4 ωρών μετά τα γεύματα και αυτό προκαλεί σφάλμα (<3%) (62), (87).

Όσον αφορά τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετούνται πάνω στις προ-καθαρισμένες μετακαρπικές και μεταταρσικές φαλαγγένιες αρθρώσεις, με απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 5cm χωρίς δερματικές αλλοιώσεις στη θέση των ηλεκτροδίων. Τα άτομα που υποβάλλονται σε μέτρηση δεν θα πρέπει να εκτελούν δραστηριότητες άσκησης πριν από μετρήσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε σφάλματα στην εκτιμώμενη ωμική αντίσταση R και στην χωρητική αντίσταση πυκνωτή  $X_C$  της τάξης των 3% και 8% αντίστοιχα. Ο Roos και οι συνεργάτες του, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το σφάλμα στη συνολική πρόβλεψη του νερού του σώματος κυμαίνεται από 1 έως 1.5 L και υπολογίζεται μετά την παραμονή σε ύπτια θέση για μία ώρα (83).

## Κεφάλαιο 5: Συνιστώμενοι κρίσιμοι παράγοντες και εξισώσεις πρόβλεψης της σύνθεσης σώματος με την τεχνική BIA

### 5.1 Συνιστώμενοι κρίσιμοι παράγοντες

Για την διεξαγωγή μιας επιστημονικά ορθής έρευνας υπάρχουν προτεινόμενοι κρίσιμοι παράγοντες (38) που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό νέων μελετών οι οποίοι κρίνεται απαραίτητο να περιγράφονται στην μεθοδολογία.

#### **Επιλογή συσκευής BIA:**

- Θα πρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια συσκευή με συνέπεια καθ'όλη τη διάρκεια της μελέτης.

#### **Ηλεκτρόδια:**

- Χρήση ηλεκτροδίων BIA που συνίστανται από τον κατασκευαστή.
- Χρήση ηλεκτροδίων με επιφάνεια  $\geq 4 \text{ cm}^2$ .
- Φύλαξη των ηλεκτροδίων σε χαμηλή θερμοκρασία για να εξασφαλιστεί καλή πρόσφυση στο δέρμα.
- Προστασία των ηλεκτροδίων από τη θερμότητα.
- Ο ερευνητής πρέπει να βεβαιωθεί ότι δεν έχει στεγνώσει η γέλη.
- Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων απαλά στο δέρμα για να εξασφαλιστεί η σωστή ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Προσδιορισμός του τύπου και το μεγέθους του ηλεκτροδίου που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη.

#### **Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων:**

##### **A) Ολόσωμες μετρήσεις BIA**

- Τοποθετείται στις ραχιαίες επιφάνειες του καρπού και του αστραγάλου.
- Τα ηλεκτρόδια τάσης εφαρμόζονται στην μέση γραμμή ανάμεσα στα προεξέχοντα άκρα των οστών στον καρπό και τον αστράγαλο.
- Τα ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετούνται σε απόσταση 5 cm από αυτές τις θέσεις για ενήλικα άτομα. Για μικρά παιδιά καθώς και νεογνά, καθορίστε αυτή η απόσταση αν δεν μπορεί να επιτευχθεί ως συνέπεια μικρών χεριών και τα ποδιών.
- Καθορίστε σε ποια πλευρά γίνεται η μέτρηση του σώματος.

- Σε περίπτωση ακρωτηριασμού συνίσταται τοποθέτηση των ηλεκτροδίων σε ένα μη επηρεασμένο τμήμα σώματος.

### ***B) Τμηματικές μετρήσεις BIA:***

- Τα μήκη και η περιφέρεια των τμημάτων πρέπει να μετρηθούν με ακρίβεια  $\pm 0.1$  cm, χρησιμοποιώντας μια μετρητική ταινία.
- Δύο ηλεκτρόδια τάσης τοποθετούνται στην ακριβή θέση όπου έχει γίνει η μέτρηση της περιφέρειας, ενώ η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων πρέπει στη συνέχεια να μετρηθεί από το κέντρο του ενός μέχρι το κέντρο του άλλου ηλεκτροδίου.
- Δύο ηλεκτρόδια ρεύματος τοποθετούνται σε μακρινή απόσταση από τα ηλεκτρόδια τάσης.

### ***Γ) Εστιασμένες μετρήσεις BIA (σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος)***

- Όσον αφορά ολόκληρο το τμήμα των άκρων, η σύνθεση μπορεί να προβλεφθεί υποθέτοντας κυλινδρική γεωμετρία χρησιμοποιώντας τη μέση περιφέρεια του τμήματος και το μήκος του ηλεκτροδίου όπως στην "τμηματική BIA".

### ***Βαθμονόμηση:***

- Οι συσκευές BIA θα πρέπει να βαθμονομούνται/επαληθεύονται τακτικά, μερικές συσκευές πραγματοποιούν αυτόματη βαθμονόμηση κάθε φορά που πραγματοποιείται μέτρηση.
- Με ηλεκτρονική μονάδα βαθμονόμησης (συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή της συσκευής) με ανοχή  $\pm 1\%$  μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την ακρίβεια της συσκευής BIA.

### ***Ανθρωπομετρία:***

- Το βάρος και το ύψος πρέπει να προσδιοριστούν με ακρίβεια  $\pm 0.1$  kg και  $\pm 0.5$  cm, αντίστοιχα, και να μετρηθούν τη στιγμή που θα διεξαχθούν οι μετρήσεις BIA.
- Όπου είναι αδύνατο ή δύσκολο να μετρηθεί το ύψος του ατόμου σε όρθια θέση (π.χ. κλινήρεις ή νεογνά), το ύψος μπορεί να αντικατασταθεί από μήκος του ατόμου σε ξαπλωμένη στάση.
- Το βάρος βρεφών <2 ετών θα πρέπει να μετράται χωρίς την παρουσία ρουχισμού.
- Το βάρος ατόμων >2 ετών πρέπει να μετράται με ελαφριά ένδυση.
- Το μήκος σε άτομα <2 ετών θα πρέπει να μετράται με ένα βρεφικό όργανο μέτρησης, ένα μετρητικό στρώμα ή μια ράβδος μέτρησης, με ένα άτομο να κρατάει το κεφάλι πάνω στο κεφαλάρι και άλλο να ισιώνει τα γόνατα κρατώντας τα πόδια σταθερά.



- Το ύψος σε άτομα >2 ετών θα πρέπει να μετράται με έναν ορθοστάτη χωρίς παπούτσια και κάλτσες.
- Χρησιμοποιήστε ψηφιακές κλίμακες οι οποίες βαθμονομούνται τακτικά (χρησιμοποιώντας τα στάνταρ βάρη), εκτός εάν χρησιμοποιούνται συσκευές που βαθμονομούνται αυτόματα.
- Ποτέ μην χρησιμοποιείτε μετρήσεις που αναφέρθηκαν από τα ίδια τα θέματα.

#### ***Περίοδος νηστείας:***

- Εκτελέστε μετρήσεις ιδανικά μετά από μια περίοδο νηστείας τουλάχιστον 4 ωρών.
- Καθορίστε τη διάρκεια της νηστείας σε βρέφη (εάν εφαρμοστεί).

#### ***Ενυδάτωση:***

- Τα άτομα θα πρέπει (ιδανικά) να ενυδατώνονται κανονικά.

#### ***Κένωση ουροδόχου κύστης:***

- Θα πρέπει να γίνει πριν εκτελεστούν οι μετρήσεις (ιδανικά).

#### ***Άσκηση:***

- Αποφυγή οποιασδήποτε έντονης σωματικής δραστηριότητας τουλάχιστον τέσσερις ώρες πριν από τη μέτρηση.

#### ***Ένδυση:***

- Βεβαιωθείτε ότι δεν υπάρχουν μέταλλα στα ρούχα.
- Αν αυτό πληρείται, αφαιρέστε μόνο τα ρούχα για πρόσβαση στο δέρμα όπου θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια όταν κάνετε μετρήσεις.

#### ***Προετοιμασία του δέρματος:***

- Καθαρίστε το δέρμα με οινόπνευμα ώστε να είναι απαλλαγμένο π.χ. από κρέμα ή λάδι πριν από την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων.

#### ***Θέση του σώματος:***

- Τα άτομα πρέπει να είναι σε ύπτια θέση για τουλάχιστον 4-10 λεπτά πριν ληφθούν οι μετρήσεις.

#### ***Κινήσεις κατά την διάρκεια των μετρήσεων:***

- Το άτομο θα πρέπει (ιδανικά) να είναι ήρεμο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

- Για μικρά άτομα (π.χ. νεογνά), οι μετρήσεις θα μπορούσαν εναλλακτικά να γίνουν ενώ το παιδί κοιμάται.

#### **Ηλεκτρικές παρεμβολές:**

- Τα χέρια και τα πόδια πρέπει να απέχουν γωνία 30°-45° από τον κορμό.
- Στα άτομα που δεν μπορούν να χωρίσουν επαρκώς τα πόδια, μονωτικά φράγματα (π.χ. στεγνά ρούχα, αφρώδη αντικείμενα) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόν τον σκοπό.
- Τοποθετήστε το άτομο σε μη αγώγιμη επιφάνεια (π.χ. τραπέζι εξέτασης, πάγκο ή χαλί) για να αποφύγετε την επαφή με μεταλλικές επιφάνειες.
- Αποφύγετε τη χρήση σε ασθενείς με εμφυτευσιμες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως βηματοδότες ή απινιδωτές (ICD).
- Οι μετρήσεις που γίνονται σε άτομα με ICD απαιτούν συνεχή παρακολούθηση της καρδιακής δραστηριότητας.

#### **Θερμοκρασία:**

- Οι μετρήσεις θα πρέπει (ιδανικά) να διεξαχθούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 22.3°C-27.7°C.

#### **Χρόνος μέτρησης:**

- Σημειώστε το χρόνο των μετρήσεων BIA.
- Για διαχρονικές μελέτες παρακολούθησης, οι μετρήσεις πρέπει να πραγματοποιούνται την ίδια ώρα της ημέρας.

#### **Χειριστής:**

- Απαραίτητη η κατάλληλη εκπαίδευση για τη λήψη έγκυρων και αναπαραγώγιμων μετρήσεων.

#### **Αριθμός μετρήσεων:**

- Συνεχίστε τις μετρήσεις μέχρι να επιτευχθούν σταθερές τιμές.
- Υπολογίστε τον μέσο όρο για τουλάχιστον τρεις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

## 5.2.1 Εξισώσεις πρόβλεψης της σύνθεσης σώματος με χρήση της τεχνικής BIA

Η αξιολόγηση της σύνθεσης του σώματος θεωρείται βασικός παράγοντας για την εκτίμηση της γενικής κατάστασης υγείας των ανθρώπων. Αρκετές μέθοδοι χρησιμοποιούν διαφορετικές παραδοχές για να υπολογίσουν την σύνθεση του σώματος με βάση τον αριθμό των διαμερισμάτων. Σε αυτή την ενότητα θεωρείται ότι το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από δύο κύρια διαμερίσματα, τη μάζα του λίπους του σώματος, FM και τη μάζα του μη λίπους, FFM. Το FFM αποτελείται εκτός των άλλων από τα ανόργανα άλατα των οστών (bone minerals) και τη μάζα των κυττάρων του σώματος (BCM) η οποία περιλαμβάνει τη σκελετική μυϊκή μάζα (SMM). Η BCM περιέχει κυρίως πρωτεΐνες και το TBW που αντιπροσωπεύουν το 73% της άλιπης μάζας σε φυσιολογικά ενυδατωμένα ενήλικα άτομα. Το TBW αποτελείται από το ενδοκυττάριο και το εξωκυττάριο υγρό. Ακολούθως, θα συζητηθούν διάφορες προγνωστικές εξισώσεις τόσο για τη μάζα μη λίπους όσο και για τη μάζα λίπους, καθώς επίσης και για τα σωματικά υγρά.

### **1.Μάζα λίπους (FM) και μάζα μη λίπους(FFM)**

Οι εκτιμήσεις FM και FFM θεωρούνται ένας από τους κύριους στόχους των τεχνικών αξιολόγησης της σύστασης σώματος. Οι μεταβολές στην μάζα λίπους (FM) μεταξύ του πληθυσμού αναφοράς οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, αλλά πιστεύεται ότι ακολουθούν παράγοντες ανάπτυξης και γήρανσης εκτός από τις σταδιακές αλλαγές στον τρόπο ζωής [81].

Οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις και οι μετρήσεις πάχους των δερματοπτυχών είναι παραδοσιακές, απλές και πολύ χαμηλού κόστους μέθοδοι για την εκτίμηση του σωματικού λίπους αλλά και για την εκτίμηση του μεγέθους των υποδόριων αποθεμάτων λίπους σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, όπως η υποβρύχια ζύγιση, η μέθοδος αραίωσης και η απορρόφηση με ακτίνες X διπλής ενέργειας (DXA).

Η ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης έχει αποδειχθεί σε πρόσφατες μελέτες ότι είναι ιδιαίτερα ακριβής για τον προσδιορισμό της άπαχης ή της λιπώδους μάζας στους ανθρώπους (88). Σε σύγκριση με τις μεθόδους BMI, ανθρωπομετρίας και αναδίπλωσης του δέρματος, η BIA προσφέρει πιο ακριβή αποτελέσματα στην εκτίμηση του λιπώδους ιστού στους ανθρώπους (87). Αρκετές μελέτες που διεξήχθησαν για τη θέσπιση τιμών αναφοράς για FFM βασίζονται σε μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Οι τιμές αυτές έχουν συσχετισθεί με τις τιμές που βρέθηκαν με χρήση εναλλακτικών τεχνικών σε διάφορες ομάδες «υγείων» ατόμων.

Ο Kyle και οι συνεργάτες του (63), ανέπτυξαν στη Γενεύη μια ενιαία εξίσωση για την πρόβλεψη του FFM χρησιμοποιώντας 343 «υγιή» άτομα ηλικίας 22 έως 94 ετών με δείκτες μάζας σώματος μεταξύ 17.0 και 33.8 kg/m<sup>2</sup> με χρήση διάταξης φασματοσκοπίας βιοηλεκτρικής εμπέδησης Xitron 4000B σε σχέση με τα ευρήματα μετρήσεων στα ίδια άτομα με διάταξη DXA Hologic QDR-4500:

$$FFM = -4.104 + 0.518 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.231wt + 0.130X_{c,50} + 4.229sex \quad (5.1)$$

$$sex \begin{cases} 1, Male \\ 0, Female \end{cases}$$

Όπου Ht αντιστοιχεί στο ύψος, R<sub>50</sub> και X<sub>c,50</sub> είναι η ωμική αντίσταση και η χωρητική αντίσταση πυκνωτή στα 50kHz και wt είναι το βάρος του σώματος. Η αναπτυχθείσα εξίσωση πέτυχε συντελεστή συσχέτισης (R<sup>2</sup>) που είναι ίσο με 0.986 ενώ το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης (SEE) είναι ίσο με 1.72 kg.

Επίσης, ο Kyle και οι συνεργάτες του (65), (89), αξιολόγησαν την FFM σε πληθυσμό 5.225 λευκών ατόμων ηλικίας 15 έως 98 ετών χρησιμοποιώντας μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης και οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η μέση τιμή FFM ήταν 8.9 kg ή 14.8% χαμηλότερη στους άνδρες ηλικίας άνω των 85 ετών από ότι στους άνδρες ηλικίας 35 έως 44 ετών και 6.2 kg ή 14.3% χαμηλότερα σε γυναίκες άνω των 85 ετών από ότι σε γυναίκες ηλικίας 45 έως 54 ετών.

Ο Sun και οι συνεργάτες του (64) στην Αμερική, χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο πολλαπλών στοιχείων βασισμένο στην υδροπυκνομετρία, την διάλυση ισοτόπων και την απορρόφηση ακτίνων X διπλής ενέργειας για την κατασκευή των εξισώσεων (5.2) και (5.3) με στόχο την εκτίμηση της FFM, το δείγμα αποτελούνταν από 1474 λευκούς και 355 έγχρωμους ανθρώπους ηλικίας 12 έως 94 ετών:

$$FFM_{male} = -10.68 + 0.65 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.26wt + 0.02R_{50} \quad (5.2)$$

$$FFM_{female} = -9.53 + 0.69 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.17wt + 0.02R_{50} \quad (5.3)$$

Οι μέσες εξισώσεις πρόβλεψης FFM πέτυχαν συντελεστή συσχέτισης R<sup>2</sup>=0.90 και 0.83 και μέσο τετραγωνικό σφάλμα ρίζας 3.9 και 2.9 kg για αρσενικά και θηλυκά άτομα αντίστοιχα.

Ο Deurenberg και οι συνεργάτες του (78), χρησιμοποίησαν υδροπυκνομετρία, ανθρωπομετρία και μετρήσεις σύνθετης βιοηλεκτρικής αντίστασης για τη διαμόρφωση της εξίσωσης πρόβλεψης FFM (5.4) χρησιμοποιώντας 661 φυσιολογικά ενήλικα άτομα ηλικίας από 16 έως 83 ετών:

$$FFM = -12.44 + 0.34 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.1534ht + 0.273wt - 0.127age + 4.56sex \quad (5.4)$$

$$sex \begin{cases} 1, Male \\ 0, Female \end{cases}$$

Οι εξισώσεις πρόβλεψης FFM πέτυχαν συντελεστή συσχέτισης  $R^2=0.93$  και τυπικό σφάλμα εκτίμησης ίσο με 2.63 kg.

Ο Pichard και οι συνεργάτες του (90), αξιολόγησαν το FFM και το FM σε πληθυσμό 3.393 λευκών ατόμων ηλικίας 15 έως 64 ετών χρησιμοποιώντας μετρήσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης και πραγματοποίησαν σύγκριση του ποσοστού του FM όπως καθορίστηκε από το BIA, με το ποσοστό του FM που υπολογίστηκε με τις εμπειρικές σχέσεις του Deurenberg και των συνεργατών του (91), που το συνδέουν με τον δείκτη μάζας σώματος, βρίσκοντας ότι η τιμή FFM κυμαίνεται μεταξύ 59.1-61.0 kg για τους άνδρες και 43.3-44.1 kg για τις γυναίκες.

Ο Heitmann (92), συνέκρινε τρεις μεθόδους αξιολόγησης της σύνθεσης σώματος, το BMI, τις πτυχώσεις δέρματος και την BIA χρησιμοποιώντας 139 υγιή άτομα ηλικίας 35 έως 65 ετών:

$$FM = 14.94 - 0.079 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.818wt - 0.231ht - 0.064sex \ wt + 0.077 \ age \quad (5.5)$$

Η εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης (5.5) για την αντίσταση είχε καλύτερη συσχέτιση ( $R^2=0.89$ ,  $SEE=3.32\text{kg}$ ) από τις εξισώσεις πολλαπλής παλινδρόμησης για τις πτυχές του δέρματος ( $R^2=0.81$ ,  $SEE=3.91\text{kg}$ ) ή από τον δείκτη μάζας σώματος ( $R^2=0.85$ ,  $SEE=3.94 \text{kg}$ ).

Πρόσφατα, ο Pichler και οι συνεργάτες (93), αξιολόγησαν το FM σε 116 άτομα (32 υγιή άτομα και 84 ασθενείς) και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ακόλουθη εξίσωση πρόβλεψης υπερεκτίμησε το FM κατά  $6.55 \pm 3.86 \text{ kg}$ :

$$FM_{male} = -18.42 + 0.60wt - 0.57 \frac{ht^2}{R_{tbw}} + 0.62 \frac{ht^2}{R_{ecf}} \quad (5.6)$$

$$FM_{female} = -9.81 + 0.65wt - 0.66 \frac{ht^2}{R_{tbw}} + 0.65 \frac{ht^2}{R_{ecf}} \quad (5.7)$$

όπου το  $R_{ecf}$  και το  $R_{tbw}$  αντιπροσωπεύουν την αντίσταση των εξωκυττάρων υγρών και το συνολικό νερό του σώματος.

Συμπερασματικά, όλες οι μελέτες δηλώνουν ότι οι γυναίκες έχουν υψηλότερη εκτίμηση FM σε σύγκριση με τους άνδρες. Επιπλέον, το FFM και για τα δύο φύλα μειώνεται προοδευτικά με την αύξηση της ηλικίας (65), (90).

## 2. Η συνολική ποσότητα νερού του σώματος (TBW), το εξωκυττάριο (ECW) και το ενδοκυττάριο (ICW) νερό

Η εκτίμηση της ποσότητας νερού στο ανθρώπινο σώμα με τη χρήση μετρήσεων βιοηλεκτρικής εμπέδησης βασίζεται στην συσχέτιση της αντίστασης του σώματος και της συνολικής ποσότητας νερού που εμπεριέχεται στο ανθρώπινο σώμα.

Ο Sun και οι συνεργάτες του (64), ανέπτυξαν τις εξισώσεις πρόβλεψης (5.8) και (5.9) για τον όγκο του TBW στη μέθοδο αραίωσης χρησιμοποιώντας την βιοηλεκτρική εμπέδηση μιας συχνότητας, SF-BIA για μια πολυεθνική ομάδα 1830 ατόμων ηλικίας 12 έως 94 ετών:

$$TBW_{male} = 1.2 + 0.45 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.18wt \quad (5.8)$$

$$TBW_{female} = 3.75 + 0.45 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.11wt \quad (5.9)$$

Η αναπτυχθείσα εξίσωση πέτυχε συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) και μέσο τετραγωνικό σφάλμα ίσο με 0.84 και 3.8 L στους άνδρες και 0.79 και 2.6 L στις γυναίκες.

Ο Sergi και οι συνεργάτες του (94), προβλέπουν το ECW χρησιμοποιώντας δύο συχνότητες (1 και 50 kHz):

$$ECW_{50kHz} = -5.22 + 0.20 \frac{ht^2}{R_{50}} + 0.005 \frac{ht^2}{Xc_{50}} + 0.08wt + 1.9 health + 1.86 sex \quad (5.10)$$

$$ECW_{1kHz} = -7.24 + 0.34 \frac{ht^2}{R_1} + 0.06wt + 2.63 health + 2.57 sex$$

όπου

$$sex \left\{ \begin{array}{l} 1, Male \\ 0, Female \end{array} \right\}, health \left\{ \begin{array}{l} 1, healthy \\ 0, diseased \end{array} \right\}$$

Λόγω της χαμηλής αγωγιμότητας του ενδοκυτταρικού υγρού στα 50 kHz, προτάθηκε η βιοηλεκτρική εμπέδηση πολλαπλής συχνότητας (MF-BIA) για την αύξηση της ακρίβειας της εκτίμησης των TBW, ECW και ICW.

Ο Deurenberg και οι συνεργάτες του (95), χρησιμοποίησαν τη MF-BIA (1, 5, 50, 100 kHz) για την πρόβλεψη του TBW χρησιμοποιώντας  $Z_{100kHz}$  και  $Z_{50kHz}$ , και για την πρόβλεψη του ECW

χρησιμοποίησαν  $Z_{1kHz}$  και  $Z_{5kHz}$  μεταξύ 139 φυσιολογικών ενηλίκων με αναφορά την αραιώση οξειδίου δευτερίου (βαρύ νερό) και την αραιώση βρωμίου:

$$TBW_{100kHz} = 6.69 + 0.34573 \frac{ht^2}{Z_{100}} + 0.17065wt - 0.11age + 2.66sex \quad (5.11)$$

$$TBW_{50kHz} = 6.53 + 0.36740 \frac{ht^2}{Z_{100}} + 0.17531wt - 0.11age + 2.83sex \quad (5.12)$$

$$\text{Όπου } sex \begin{cases} 1, Male \\ 0, Female \end{cases}$$

Η εξίσωση πρόβλεψης του TBW πέτυχε συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) και πρότυπο σφάλμα εκτίμησης (SEE) ίσο με 0.95 και 1.73 L χρησιμοποιώντας  $Z_{100kHz}$ , ενώ επιτεύχθηκε  $R^2=0.95$  και  $SEE=1.74$  L χρησιμοποιώντας  $Z_{50kHz}$ :

$$ECW_{1kHz} = 2.30 + 0.19528 \frac{ht^2}{Z_1} + 0.06987wt - 0.02age \quad (5.13)$$

$$ECW_{5kHz} = 2.53 + 0.18903 \frac{ht^2}{Z_5} + 0.06753wt - 0.02age \quad (5.14)$$

Η εξίσωση πρόβλεψης του ECW πέτυχε συντελεστή συσχέτισης ( $R^2$ ) και πρότυπο σφάλμα εκτίμησης (SEE) ίσο με 0.87 και 0.98 L αντίστοιχα χρησιμοποιώντας  $Z_{1kHz}$  και 0.86 και 1.02 L χρησιμοποιώντας  $Z_{5kHz}$ .

Ωστόσο, εκτός από τις παραπάνω ενδεικτικές σχέσεις που αναφέρθηκαν, έχουν αναπτυχθεί πληθώρα εξισώσεων για το μη λίπος του σώματος, το λίπος του σώματος, την συνολική ποσότητα νερού, το ενδοκυττάριο και εξωκυττάριο νερό καθώς και τη μάζα των κυττάρων του σώματος. Επιλεγμένες εξισώσεις BIA που δημοσιεύτηκαν από το 1990 και μετά, για ενήλικες όσον αφορά το FFM, το σωματικό λίπος, τη συνολική ποσότητα νερού του σώματος, το εξωκυττάριο υγρό και το ενδοκυττάριο υγρό παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 έως 5 (60). Αυτά περιορίζονται σε μελέτες σε υγιή άτομα που περιλαμβάνουν τουλάχιστον 40 άτομα και επικυρώνονται βάσει μέτρου κριτηρίου.

Η εξίσωση για το TBW από τους Kushner και Schoeller περιλαμβάνεται επειδή αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία. Για τις εξισώσεις BIA για FFM, TBW και λίπος σώματος που δημοσιεύτηκαν πριν από το 1990, παραπέμπουμε τον αναγνώστη στον Houtkooper και τους συνεργάτες του (96). Όσον αφορά την επιλογή εξίσωσης BIA ο Houtkooper και οι συνεργάτες του, πρότειναν ότι σφάλμα πρόβλεψης (SEE) 2.0-2.5 kg σε άνδρες και 1.5-1.8 kg σε γυναίκες είναι αποδεκτό. Σφάλμα πρόβλεψης μικρότερο από 3.0 kg για τους άνδρες και 2.3 kg για τις γυναίκες θεωρείται ικανοποιητικό, ενώ οι εξισώσεις BIA που επιλέγονται δεν θα πρέπει να

χρησιμοποιούνται χωρίς προηγούμενη επαλήθευση έναντι των μεθόδων αναφοράς στον υπο μελέτη πληθυσμό (60).

Population	Source	n	Criterion measure	Equation	r <sup>2</sup>	SEE*	BIA instrument
<i>Adults</i>							
Healthy subjects, 18-94yr	Kyle et al.	343	DXA	-4.104 + 0.518 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.231 weight +0.130 Xc + 4.229 sex	0.97	1.8	Xitron
Healthy adults, 18-29yr	Lohman	153	Densitometry	Women = 5.49 + 0.476 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.295 weight	NR	2.1	Valhalla
Healthy adults, 30-49yr	Lohman	122	Densitometry	Women = 11.59 + 0.493 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.141 weight	NR	2.5	Valhalla
Healthy, ethnic divers	Kotler et al. SF parallel	126	DXA	Women = +0.07 + 0.88 (Ht <sup>1.97</sup> /Z <sub>50</sub> <sup>0.49</sup> ) (1.0/22.22) + 0.081 weight	0.71	6.56% (≈2.6)	RJL-101
Healthy subjects, > 16 yr	Deurenberg et al.	661	Multi-C, densitometry	-12.44 + 0.34 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.1534 height +0.273 weight - 0.127 age + 4.56 sex	0.93	2.6	RJL-101
Healthy subjects, 12-71 yr	Boulier et al.	202	Densitometry	6.37 + 0.64 weight + 0.40 Ht <sup>2</sup> /Z <sub>1,MHZ</sub> -0.16 age -2.71 sex (men = 1, women = 2)	0.92	2.6	IMP BO-1
Women 18-60yr	Stolarczyk et al.	95	Multi-C	20.05 - 0.04904 R <sub>50</sub> +0.001254 Ht <sup>2</sup> +0.1555 weight + 0.1417 Xc - 0.0833 age	0.75	2.6	Valhalla
Healthy adults, 50-70yr	Lohman	72	Densitometry	Women = 6.34 + 0.474 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.180 weight	NR	2.8	Valhalla
Healthy adults, 18-29yr	Lohman	153	Densitometry	Men = 5.32 + 0.485 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.338 weight	NR	2.9	Valhalla
Healthy subjects, 12-94yr	Sun et al.	1095	Multi-C	Women: -9.529 + 0.696 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.168 weight + 0.016 R <sub>50</sub>	0.83	2.9*	
Healthy, ethnic divers	Kotler et al. SF parallel	206	DXA	Men = +0.49 + 0.50 (Ht <sup>1.48</sup> /Z <sub>50</sub> <sup>0.55</sup> ) (1.0/1.21) + 0.42 weight	0.92	5.45% (≈3.2)	RJL-101
Healthy adults, 30-49yr	Lohman	111	Densitometry	Men = 4.51 + 0.549 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.163 weight + 0.092 Xc	NR	3.2	Valhalla
Healthy subjects, 35-65yr	Heitmann	139	Multi-C, <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O, TBK	-14.94 + 0.279 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.181 weight +0.231 height + 0.064 (sex weight) - 0.077 age	0.90	3.6	RJL-103
Healthy adults, 50-70yr	Lohman	74	Densitometry	Men = -11.41 + 0.600 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.186 weight + 0.226 Xc	NR	3.6	Valhalla
Healthy subjects, 12-94yr	Sun et al.	734	4 compart	Men : -10.678 + 0.652 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.262 weight + 0.015 R	0.90	3.9*	RJL-101

<i>Overweight</i>							
Overweight women 25-45 yr	Jakicic et al.	123	DXA	2.68 + 0.20 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.19 weight +2.55 ethnicity(Caucasian = 0, AfricanAmerican = 1) + 0.1157 height	0.65	8.8	RJL-101
Overweight women 25-45 yr	Jakicic et al.		DXA	2.04 - 0.02 R <sub>50</sub> +0.19 weight + 2.63 ethnicity(Caucasian = 0, AfricanAmerican = 1) +0.2583 height	0.65	8.8	
<i>Elderly</i>							
Elderly women 62-72 yr	Haapala et al.	93	DXA	-128.06 + 1.85 BMI - 0.63 weight+ 1.07 height - 0.03 R <sub>50</sub> +10.0 waist-hip ratio	0.83	1.6	RJL-101
Elderly	Roubenoff et al.	294	DXA	Women : 7.7435 + 0.4542 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.1190 weight + 0.0455 Xc	0.77	2.09	RJL-101
Elderly, 65-94yr	Baumgartner et al.	98	Multi-C	-1.732 + 0.28 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.27 weight +4.5 sex + 0.31 thigh circ	0.91	2.5	RJL-101
Elderly	Dey et al.	106	4 compart	11.78 + 0.499 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.134 weight +3.449 sex	0.91	2.6	RJL-101
Elderly, 60-83yr	Deurenberg et al.	72	Densitometry	7.0 + 0.360 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +4.5 sex +0.359 weight - 0.20 thigh circ	0.92	2.5	RJL-101
Elderly, 60-83yr	Deurenberg et al.	72	Densitometry	3.9 + 0.672 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +3.1 Sex	0.88	3.1	RJL-101
Elderly, 65-94yr	Baumgartner et al.	98	Densitometry	15.44 + 0.34 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.36 weight +4.3 sex - 0.57 ankle circ	0.87	3.2	RJL-101
Elderly	Roubenoff et al.	161	DXA	Men: 9.1536 + 0.4273 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.1926 weight + 0.0667 Xc	0.72	3.4	RJL-101
Elderly	Roubenoff et al.	445	DXA	5.741 + 0.4551 Ht <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> +0.1405 weight +0.0573 Xc + 6.2467 sex			RJL-101

Πίνακας 1: Οι εξισώσεις βιοηλεκτρικής εμπέδησης BIA που αναφέρονται στη βιβλιογραφία από το 1990 για τη μάζα μη λίπους (FFM)



Comments	Source	n	Criterion measure	Equation	r <sup>2</sup>	SEE	BIA instrument
<i>Body fat (%)</i>							
Elderly, 65-94yr	Baumgartner et al.	98	Multi-C	$-23.58 + 20.03 (R_{50} \text{ weight})/Ht^2$ $+0.29 \text{ thigh circ}$	0.73	3.80%	RJL-101
Elderly, 65-94yr	Baumgartner et al.	98	Densitometry	$-4.99 \text{ sex} + 0.52 \text{ arm circ}$ $-18.89 + 22.12 (R_{50} \text{ weight})/Ht^2$ $+0.64 \text{ calf circ}$ $-4.13 \text{ sex}$	0.55	5.00%	
<i>Body fat (kg)</i>							
Healthy subjects, 21-64yr, segmental BIA	Organ et al	104	Underwater weighing, <sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	Women : $-5.9150 + 0.7395 \text{ weight}$ $-0.3327 \text{ height} + 0.0846 \text{ age}$ $+0.048 \text{ upperlimb } R_{50} + 0.2705 \text{ trunk } R_{50}$ $+0.0384 \text{ lowerlimb } R_{50} - 0.1219 \text{ lowerlimb } Xc$	0.93	1.9	Na
Healthy subjects, 21-64yr, segmental BIA	Organ et al.	96	Underwater weighing, <sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	Men : $-4.2422 + 0.7368 \text{ weight} - 0.0482 \text{ height}$ $+0.1170 \text{ age} + 0.0393 \text{ upperlimb } R_{50} + 0.5110 \text{ trunk } R_{50}$ $+0.0654 \text{ lowerlimb } R_{50} - 0.2560 \text{ lowerlimb } Xc$	0.93	2.8	Na
Healthy subjects, 35-65yr	Heitmann <sup>1</sup>	139	FM multi-C	$14.94 - 0.079 Ht^2/R_{50} + 0.818 \text{ weight} - 0.231 \text{ height}$ $-0.064 \text{ sex weight} + 0.077 \text{ age}$	0.90	3.6	RJL-103

Πίνακας 2: Η εξισώσεις ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία από το 1990 για τη μάζα σωματικού λίπους (BF ή FM)

Comments	Source	n	Criterion measure	Equation	r <sup>2</sup>	SEE	BIA instrument
Healthy subjects	Deurenberg et al.	139	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$6.69 + 0.34573 \text{Ht}^2 / Z_{100} + 0.17065 \text{ weight} - 0.11 \text{ age} + 2.66 \text{ sex}$	0.95	1.73	Human-IM scanner
Healthy subjects	Deurenberg et al.	139	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$6.53 + 0.36740 \text{Ht}^2 / Z_{50} + 0.17531 \text{ weight} - 0.11 \text{ age} + 2.83 \text{ sex}$	0.95	1.74	
Healthy subjects	Comish et al.	60	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$0.6 + 0.50 \text{Ht}^2 / R_0 + 0.186 \text{ weight}$		2.1 or 6.1%	SEAC
Healthy subjects, 35-65 yr	Heitmann	139	Multi C, <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O, TBK	$-17.58 + 0.240 \text{Ht}^2 / R_{50} - 0.172 \text{ weight} + 0.040 \text{ sex weight} + 0.165 \text{ height}$	0.85	3.47	RJL-103
Healthy subjects, ethnic divers	Kotler et al. SF parallel	206	<sup>3</sup> H <sub>2</sub> O, TBK	Men = $(-3.66 + 0.58 (\text{Ht}^{1.62} / Z_{50}^{0.7} 1.0 / 1.35) + 0.32 \text{ weight})$	0.83	7.80%	RJL-101
Healthy subjects, ethnic divers	Kotler et al. SF parallel	126	<sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	Women = $(-0.86 + 0.76 (\text{Ht}^{1.99} / Z_{50}^{0.58} 1.0 / 18.91) + 0.14 \text{ weight})$	0.67	8.20%	RJL-101
Healthy subjects, 17-66 yr	Kushner and Schoeller	40	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	Men = $8.399 + 0.396 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.143 \text{ weight}$	0.96	M 1.66	RJL-101
				Women = $8.315 + 0.382 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.105 \text{ weight}$	0.95	F 0.88	
Healthy subjects, 17-66 yr	Kushner and Schoeller	40	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$1.726 + 0.5561 \text{Ht}^2 / R_{50} - 0.0955 \text{ weight}$	0.97	1.75	
Healthy subjects, 12-94 yr	Sun et al.	734	Multi-C	Men : $1.203 + 0.449 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.176 \text{ weight}$	0.84	3.8 <sup>+</sup>	RJL-101
	Sun et al.	1095	Multi-C	Women : $3.747 + 0.450 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.113 \text{ weight}$	0.79	2.6 <sup>+</sup>	
Elderly subjects	Vache et al.	58	<sup>18</sup> O	$3.026 + 0.358 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.149 \text{ weight} + 2.924 \text{ sex}$			Analycor3
Elderly subjects	Vache et al.	58	<sup>18</sup> O	$2.896 + 0.366 \text{Ht}^2 / R_{100} + 0.137 \text{ weight} + 2.485 \text{ sex}$	0.97	1.3	
Healthy subjects, 19-65 yr	Van Loan and Mayclin	60	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$14.0107 + 0.29753 \text{Ht}^2 / R_{224} + 0.14739 \text{ weight} - 3.63734 \text{ sex} (\text{men} = 0, \text{women} = 1) - 0.07299 \text{ age}$	0.86	3.58	Xitron
Elderly, 63-87 yr	Visser et al.	117	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	Men = $8.3 + 0.3228 \text{Ht}^2 / Z_{50} + 0.1652 \text{ weight}$	0.66	3.1	Xitron
				Women = $11.9 + 0.2715 \text{Ht}^2 / Z_{50} + 0.1087 \text{ weight}$	0.41	2.7	
Healthy non-obese and obese subjects	Cox-Reijnen and Soeters	90	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$0.08 + 0.458 \text{Ht}^2 / R_{\text{bw}} + 0.06 \text{ weight}$	0.91	1.9	Xitron
Obese women	De Lorenzo et al.	55	<sup>2</sup> H <sub>2</sub> O	$23.1898 + 0.0154 (V/Z_1) + 0.3315 V / ((Z_1 Z_{100}) / (Z_1 - Z_{100}))$	0.94	2.8	
Surgical patients	Hannan et al.	43	<sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	$5.82 + 0.446 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.129 \text{ weight}$	0.90	2.5	Xitron
Surgical patients	Hannan et al.	43	<sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	$5.69 + 0.399 \text{Ht}^2 / R_{500} + 0.114 \text{ weight}$	0.90	2.5	Xitron
Surgical patients	Hannan et al.	43	<sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	$-1.04 + 0.45 \text{Ht}^2 / R_{500} + 0.46 \text{ APT} + 0.0119 \text{Ht}^2 / X_{C50} - 0.0106 \text{Ht}^2 / X_{C500}$	0.93	2.2	Xitron

Πίνακας 3: Οι εξισώσεις ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία από το 1990 για το συνολικό νερό του σώματος (TBW)

Population	Source	n	Criterion measure	Equation	r <sup>2</sup>	SEE	BIA instrument
Healthy subjects	Deurenberg et al.	139	KBr	$2.30 + 0.19528 \text{Ht}^2 / Z_1 + 0.06987 \text{weight} - 0.02 \text{age}$	0.87	0.98	Human-IM
Healthy subjects	Deurenberg et al.	139	KBr	$2.53 + 0.18903 \text{Ht}^2 / Z_5 + 0.06753 \text{weight} - 0.02 \text{age}$	0.86	1.02	scanner
Healthy subjects, 19-65 yr	Van Loan and Mayclin	60	NaBr	$-5.17753 + 0.09989 \text{Ht}^2 / R_{224} + 0.09322 \text{weight} - 1.3962 \text{sex}(\text{men} = 0, \text{women} = 1)$	0.92	1.06	Xitron
Healthy and ill subjects	Sergi et al.	40	NaBr	$-7.24 + 0.34 \text{Ht}^2 / R_1 + 0.06 \text{weight} + 2.63(\text{healthy} = 1, \text{ill} = 2) + 2.57 \text{sex}(\text{men} = 0, \text{women} = 1)$	0.89	1.75	RJL-101 and 103
Healthy and ill subjects	Sergi et al.	40	NaBr	$-5.22 + 0.20 \text{Ht}^2 / R_{50} + 0.005 \text{Ht}^2 / X_{C_{50}} + 0.08 \text{weight} + 1.9(\text{healthy} = 1, \text{ill} = 2) + 1.86 \text{sex}(\text{men} = 0, \text{women} = 1)$	0.89	1.75	
Healthy non-obese and obese subjects	Cox-Reijnen and Soeters	90	NaBr	$-3.511 + 0.351 \text{Ht}^2 / R_{\text{ecw}} + 0.05 \text{weight}$	0.77	2.0	Xitron
Healthy subjects	Cornish et al.	60	NaBr	$-6.3 + 0.352 \text{Ht}^2 / R_0 + 0.099 \text{weight} + 3.09 \text{sex}(0 = \text{male}, 1 = \text{female})$	0.7	2.1 or 11.7%	SEAC
Healthy subjects	Cornish et al.	60	NaBr	$12 + 0.194 \text{Ht}^2 / R_0 + 0.115 \text{weight}$	0.65	2.2 or 12.7%	SEAC
Healthy subjects	Cornish et al.	60	NaBr	$-5.3 + 0.480 \text{Ht}^2 / R_0 + 3.5 \text{sex}(0 = \text{male}, 1 = \text{female})$	0.66	2.2 or 12.6%	SEAC
Elderly, 63-87 yr	Visser et al.	117	KBr	$\text{Men} = 4.8 + 0.2249 \text{Ht}^2 / Z_5$ $\text{Women} = 1.7 + 0.1998 \text{Ht}^2 / Z_5 + 0.0571 \text{weight}$	0.39	2.2	Xitron
Surgical patients	Hannan et al.	43	NaBr	$5.75 + 0.01 \text{Ht}^2 / X_{C_{50}} + 0.165 \text{Ht}^2 / R_5$	0.87	1.7	Xitron
Surgical patients	Hannan et al.	43	NaBr	$6.15 + 0.0119 \text{Ht}^2 / X_{C_{50}} + 0.123 \text{Ht}^2 / R_{50}$	0.87	1.7	Xitron

Πίνακας 4: Οι εξισώσεις ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία από το 1990 για το εξωκυττάριο νερό (ECW)

Comments	Source	n	Criterion measure	Equation	r <sup>2</sup>	SEE	BIA instrument
Elderly, 60-80yr	Dittmar and Reber, SF <sub>BIA</sub>	159	TBK	$9.182 + 0.285 \text{Ht}^2 / Z_5 + 7.114 \text{PA}_5 + 2.113 \text{sex}$	0.93	0.9	BIA-2000-M
Healthy men, 23-53yr	De Lorenzo et al.	57	TBK	$12.2 + 0.37065 \text{Ht}^2 / R_{\text{icw}} - 0.132 \text{age} + 0.105 \text{weight}$	0.69	1.9	Xitron

Πίνακας 5: Οι εξισώσεις ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία από το 1990 για το ενδοκυτταρικό νερό (ICW)

## 5.2.2 Μέθοδοι αναφοράς

Η επιβεβαίωση της ορθότητας των εξισώσεων BIA πρέπει να γίνει με μεθόδους αναφοράς, συμπεριλαμβανομένου του μοντέλου πολλαπλών διαμερισμάτων, της πυκνομετρίας (υποβρύχια ζύγιση), την απορρόφηση με ακτίνες Χ διπλής ενέργειας (DXA), την αραιώση ισότοπου και την συνολική ποσότητα καλίου του σώματος (TBK). Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους αναφοράς έχει περιορισμούς και κάνει υποθέσεις που δεν ισχύουν σε όλες τις καταστάσεις. Το DXA συμπεριλαμβάνεται ως μέθοδος αναφοράς λόγω της ευρείας διαθεσιμότητάς του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασθενείς. Οι περιορισμοί του DXA είναι ότι τα αποτελέσματα από διάφορους κατασκευαστές δεν συμφωνούν. Αν και η TBK είναι

μέθοδος αναφοράς για τη μάζα των σωματικών κυττάρων (BCM) είναι περιορισμένη στον προσδιορισμό του FFM επειδή η περιεκτικότητα σε TBK ποικίλλει –αν και ελάχιστα- ανάλογα με το φύλο και την ηλικία. Το μοντέλο των δυο διαμερισμάτων κάνει υποθέσεις σχετικά με τη σταθερότητα της σύνθεσης της FFM, κάτι που δεν ισχύει σε όλες τις εθνικές ομάδες και σε ολόκληρη τη ζωή. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να ξεπεραστούν με ένα μοντέλο πολλαπλών διαμερισμάτων.

Έτσι, ορισμένες από τις αποκλίσεις που αναφέρθηκαν στη βιβλιογραφία οφείλονται σε διαφορετικές μεθόδους αναφοράς και διαφορετικές εκδόσεις λογισμικού που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία επικύρωσης. Αυτό δημιουργεί δίλημμα όσον αφορά την επιλογή μιας εξίσωσης BIA για έναν συγκεκριμένο πληθυσμό που θεωρήθηκε έγκυρη με βάση μια μέθοδο αναφοράς που μπορεί να ήταν ή να μην ήταν ακριβής και μπορεί να είναι ή να μην είναι συγκρίσιμη με άλλες μεθόδους αναφοράς (60).

## **Πειραματικό μέρος**

# **Κεφάλαιο 6: Περιγραφή δείγματος, οργανολογία και στατιστική ανάλυση ευρημάτων**

## **6.1 Περιγραφή δείγματος**

Η παρούσα μελέτη διεξήχθη το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019. Ο υπό μελέτη πληθυσμός κατηγοριοποιείται σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλάμβανε φοιτητές διαφόρων τμημάτων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων ηλικίας 21-29 ετών, η δεύτερη περιελάμβανε αθλητές της Ακαδημίας κινεζικών παραδοσιακών πολεμικών τεχνών Ιωαννίνων τόσο από το παιδικό-εφηβικό τμήμα όσο και από αυτό των ενηλίκων. Οι ηλικίες ήταν 6-16 ετών και 18-52 ετών αντίστοιχα. Η τρίτη ομάδα περιελάμβανε αθλητές ηλικίας 8-15 ετών από το παιδικό-εφηβικό τμήμα του Δημοτικού Κολυμβητηρίου Ιωαννίνων. Η συλλογή του δείγματος έγινε μετά από ενημέρωση είτε των ίδιων των ατόμων στην περίπτωση των ενηλίκων είτε μετά από ενημέρωση των γονέων των ανήλικων εθελοντών. Το δείγμα αποτελείται από 54 άτομα συνολικά, εκ των οποίων 34 αγόρια και 20 κορίτσια. Η συμμετοχή των ατόμων ήταν εθελοντική (Συμφωνητικό Εθελοντικής Συμμετοχής, Παράρτημα Α, σελ. 128).

Μια ημέρα πριν την διεξαγωγή των μετρήσεων ΒΙΑ γινόταν ενημέρωση των εθελοντών όσον αφορά τις ώρες νηστείας, καθώς απαιτείται αποχή από κάθε είδους τροφή ή πόσιμου ροφήματος για τουλάχιστον 3 ώρες πριν την μέτρηση αλλά και παύση αθλητικής δραστηριότητας για τουλάχιστον 12 ώρες πριν την μέτρηση. Βεβαιώθηκαν προκαταβολικά οι εθελοντές για το απόρρητο των στοιχείων τους, καθώς και ενημερώθηκαν στο τέλος της έρευνας για τα γενικά αποτελέσματα. Δόθηκε η δυνατότητα σε όλους τους εθελοντές να λύσουν τις απορίες τους ρωτώντας ελεύθερα για τον σκοπό της έρευνας και των επιμέρους μετρήσεων. Οι εθελοντές απαιτούνταν να ήταν υγιή άτομα άνω των 6 ετών. Τέλος κάθε εθελοντής είχε την δυνατότητα, εάν το επιθυμούσε, να μάθει για τα προσωπικά του αποτελέσματα.

Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν συμπλήρωση φυλλαδίου με τα προσωπικά στοιχεία του εθελοντή, όπως φύλο, ηλικία, ύψος, βάρος, βαθμός δραστηριότητας, περίμετρος μέσης, περίμετρος γοφών και πάχος δερματοπτυχών τρικέφαλου και γάμπας.

## 6.2 Οργανολογία

Χρησιμοποιήθηκαν δυο μεθοδολογίες για την ανάλυση της σύστασης του ανθρώπινου σώματος, ανάλυση με σύστημα BIA τύπου Bodystat® 1500 MDD (Bodystat Ltd, UK) και φυσική ανθρωπομετρία με δερματοπτυχόμετρο (διαστημόμετρο για μέτρηση δερματικής πτύχωσης) τύπου Holtain-Tanner/Whitehouse (Holtain Ltd, UK).

A) Ο αναλυτής σύστασης σώματος Bodystat 1500 MDD ο οποίος επιτρέπει τον υπολογισμό της σύστασης του σώματος που χρησιμοποιείται εκτός των άλλων για την έγκαιρη διάγνωση του καρδιαγγειακού κινδύνου. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή μετρά με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος 200  $\mu$ A την ηλεκτρική εμπέδηση του ανθρώπινου σώματος (δεξί πόδι- δεξί χέρι) στη συχνότητα 50 kHz στην περιοχή 20 ως 1000  $\Omega$  με ακρίβεια 2  $\Omega$  και υπολογίζει έναν αριθμό παραμέτρων που σχετίζονται με τη σύσταση του σώματος με βάση μετρήσεων ηλεκτρικής εμπέδησης στις συχνότητες 5 και στα 50 kHz. Για αυτό το σκοπό, διαθέτει λογισμικό με αναβαθμισμένη λειτουργικότητα και εργαλεία για την έγκαιρη διάγνωση καλύπτοντας μετρήσεις, από την κυτταρική υγεία μέχρι και την αποδυνάμωση των μυών. Ο αναλυτής είναι κατάλληλος για αξιολόγηση ατόμων από 6 ετών και άνω, ενώ διαθέτει δύο συχνότητες, 5 και 50 kHz για την μέτρηση της σύνθετης αντίστασης με ηλεκτρικό ρεύμα στον εξεταζόμενο <1 mA γεγονός πολύ σημαντικό για την ασφάλεια των συμμετεχόντων στην έρευνα. Για την διεξαγωγή των μετρήσεων χρησιμοποιούνται 4 ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετούνται ανά ζεύγη στο δεξί χέρι και στο δεξί πόδι του εξεταζόμενου σύμφωνα με το πρωτόκολλο μέτρησης (Εικόνες 3.10 και 3.11). Για τους ενήλικες η ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους ζεύγους ηλεκτροδίων ήταν 5 cm.

Για την μέτρηση της μάζας σώματος χρησιμοποιήθηκε μια τυπική ψηφιακή ζυγαριά μέτρησης σωματικού βάρους ακρίβειας 0.1 kg ενώ για τον προσδιορισμό του ύψους και των περιφερειών μέσης και γοφών χρησιμοποιήθηκε μετρητική ταινία ακρίβειας 1 mm.

Τα δεδομένα που παρέχονται στον χρήστη μετά την διεξαγωγή μιας μέτρησης BIA είναι:

- Η ποσότητα του λίπους (FM)
- Η άλιπη μάζα (FFM)
- Η άνυδρη μάζα
- Η συνολική ποσότητα νερού
- Το ενδοκυττάριο (ICW) και εξωκυττάριο υγρό (ECW)
- Ο εκτιμώμενος μέσος όρος ενεργειακών απαιτήσεων
- Ο δείκτη μάζα σώματος
- Οι αντιστάσεις του σώματος, όπως την ωμική αντίσταση R, την χωρική αντίσταση πυκνωτή Xc καθώς και την σύνθετη αντίσταση Z, και

- Η γωνία φάσης

Πριν την διεξαγωγή των in vivo μετρήσεων και σε τακτά χρονικά διαστήματα διεξαγόταν η βαθμονόμηση του μετρητή σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή ενώ τα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνταν άπαξ για κάθε μέτρηση.



Εικόνα 6.1: Ο μετρητής ανάλυσης σώματος Bodystat 1500MDD®

Β) Για την δερματοπτυχομέτρηση χρησιμοποιήθηκε το δερματοπτυχόμετρο ή παχύμετρο Holtain. Η τεχνική βασίζεται στην μέτρηση του πάχους των δερματοπτυχών, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με το υποδόριο λίπος που καλύπτει το σώμα. Η διαδικασία της μέτρησης είναι σχετικά εύκολη επί της αρχής, αλλά απαιτεί προσεκτική χρήση από τον χειριστή αφού εξαρτάται από τον ίδιο η ακρίβεια των μετρήσεων. Το όργανο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει μια σταθερή πίεση  $10 \frac{g}{mm^2}$  σε όλο το εύρος λειτουργίας του, το οποίο εκτείνεται από 0 mm έως 48 mm.



Εικόνα 6.2: Το δερματοπτυχόμετρο Holtain.

### **6.2.2 Ανθρωπομετρικές μετρήσεις (ύψος, μάζα, περίμετρος, δερματοπτυχές)**

Μέτρηση ύψους: Στην μελέτη χρησιμοποιήθηκε μετρητική ταινία η οποία στερεώθηκε στον τοίχο. Ο εξεταζόμενος δεν φορούσε υποδήματα και κάλτσες ενώ ο ρουχισμός δεν διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην διεξαγωγή της παρούσας μέτρησης. Κατά την μέτρηση του ύψους το άτομο στέκεται ίσια με το κεφάλι μπροστά, τα πόδια ενωμένα, τα γόνατα ευθεία και οι φτέρνες, τα οπίσθια και η ωμοπλάτη σε επαφή με την κάθετη επιφάνεια του τοίχου. Οι ώμοι πρέπει να κρέμονται χαλαρά στις πλευρές με τις παλάμες να «βλέπουν» προς τους μηρούς. Στις περιπτώσεις όπου μεγάλη ποσότητα λιπώδους ιστού εμποδίζει τις φτέρνες, τα οπίσθια και τους ώμους να εφάπτονται στον τοίχο ταυτόχρονα, πρέπει απλώς να ζητείται στα άτομα να μένουν όρθια.

Μέτρηση μάζας σώματος: Η μέτρηση της μάζας σώματος σε ενήλικες είναι προτιμότερο να γίνεται μετά το άδειασμα της ουροδόχου κύστης. Η ζυγαριά τοποθετείται σε μία αυστηρά επίπεδη επιφάνεια ενώ το άτομο στέκεται χαλαρό αλλά ακίνητο, κατά προτίμηση με ελαφριά ένδυση. Το βάρος του σώματος καταγράφεται στο πλησιέστερο 0.1 kg.



Μέτρηση περιμέτρων: Για την ανάλυση της σύστασης του ανθρώπινου σώματος μπορεί κανείς να προβεί σε ανθρωπομετρικές μετρήσεις όπως αυτές των περιφερειών μέσης και γοφών. Μετρώντας αυτές τις δύο περιφέρειες του σώματος ο μετρητής BIA μεταξύ άλλων παρέχει το πηλίκο περιφέρειας μέσης προς γοφούς (waist-to-hip ratio, WHR), η οποία διαφοροποιείται ανάμεσα σε άντρες και γυναίκες. Για τους άνδρες η φυσιολογική τιμή είναι  $\leq 0.9$  ενώ για τις γυναίκες  $\leq 0.8$ . Η αναλογία αυτή είναι ενδεικτικό παχυσαρκίας και επομένως αυξημένου κινδύνου για νοσήματα που σχετίζονται με την παχυσαρκία. Οι περιφέρειες μετρήθηκαν με πλαστική μεζούρα.

Μέτρηση δερματοπτυχών: Οι μέτρηση του πάχους δερματοπτυχών με διαστημόμετρο είναι μια απλή μέθοδος υπολογισμού και αξιολόγησης του ποσοστού λιπώδους μάζας στο σώμα. Είναι πρακτική μέθοδος, γι' αυτό κρίνεται ως κατάλληλη μέθοδος για κλινικές μετρήσεις, επειδή μπορούν να εφαρμοστούν με μεγάλη ευκολία και χαμηλό κόστος. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μετρήθηκε η δερματοπτυχή σε δυο ανατομικές περιοχές στον τρικέφαλο και στη γάμπα. Ο υπολογισμός του ποσοστού σωματικού λίπους έγινε σύμφωνα με τις εξισώσεις των Slaughter και Lohman (εξισώσεις 6.1 και 6.2), ανάλογα με το φύλο του εξεταζόμενου (97) ενώ οι εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε άτομα ηλικίας άνω των 18 ετών.

Οι δερματοπτυχές του τρικέφαλου μετρήθηκαν ως εξής: με μεζούρα μετράται κάθετα στο πίσω μέρος του βραχίονα, η απόσταση μεταξύ του κατώτερου ορίου του ακρωμίου οστού και του ωλέκranου, ενώ το χέρι σχηματίζει ορθή γωνία (Εικόνα 6.3). Στο σημείο αυτό ο εξεταστής ανασηκώνει το δέρμα κατά 1.0 cm κρατώντας με το ένα χέρι την δερματοπτυχή και με το άλλο χέρι το δερματοπτυχόμετρο, οπότε κάνει την μέτρηση προσέχοντας να περιλαμβάνεται όλη η δερματοπτυχή αφήνοντας απ' έξω τον μυϊκό ιστό, ενώ το χέρι αφήνεται ελεύθερο να πέσει. Το δέρμα απομονώνεται από τον υποκείμενο μυ και σε χρονικό διάστημα δύο δευτερολέπτων, πρέπει να γίνει ανάγνωση της ένδειξης του οργάνου. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τον προσδιορισμό της δερματοπτυχής της γάμπας. Για τη μείωση των τυχαίων σφαλμάτων στο πάχος έγιναν δύο μετρήσεις στην ίδια ανατομική περιοχή και προσδιορίστηκε ο μέσος όρος των τιμών. Οι μετρήσεις έγιναν στην δεξιά πλευρά του σώματος.



Εικόνα 6.3: Μέτρηση της δερματοπτυχής του τρικέφαλου

## 6.3 Στατιστική ανάλυση δείγματος

### 6.3.1 Στατιστικά προγράμματα και εργαλεία

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο SPSS (version 22) και το Microsoft Excel (2010). Οι συνεχείς μεταβλητές εκφράστηκαν σαν Μέση Τιμή  $\pm$  Τυπική Απόκλιση. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν:

- Το κριτήριο Shapiro- Wilk για τον έλεγχο κανονικότητας του δείγματος
- Ο έλεγχος T-Test ανά ζεύγη (Paired sample T-Test) για να διαπιστωθεί αν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μετρήσεων στα άτομα της πρώτης ομάδας λόγω διαφορετικής στάσης σώματος, αλλά και κατάστασης δέρματος σε κάθε περίπτωση
- Η μέθοδος PCA (Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών) για τον προσδιορισμό εκείνων των μεταβλητών που δεν έχουν έντονη συσχέτιση μεταξύ τους, και
- Το μοντέλο της Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης για τον προσδιορισμό της εξίσωσης της άλιπης μάζας σώματος (FFM) τόσο για τους ενήλικες όσο και για τα παιδιά.

Σε όλες τις αναλύσεις το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε να είναι 5%.

### 6.3.2 Παρουσίαση και στατιστική ανάλυση ευρημάτων

Στη μελέτη έλαβαν μέρος 54 άτομα, εκ των οποίων τα 34 ήταν αρσενικά άτομα και τα 20 θηλυκά. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται ο αριθμός των ατόμων κατηγοριοποιημένος ως προς την ηλικία. Στο δείγμα εμπεριέχονται γυμναστές και ερασιτέχνες αθλητές.

	< 18 έτη	≥18 έτη
Θήλεα άτομα	11	9
Άρρενα άτομα	15	19
Σύνολο	26	28

Πίνακας 1: Γενικός πίνακας πληθυσμού

Οι μέσες τιμές (Μέση Τιμή ± Τ.Α) των ανθρωπομετρικών δεικτών του υπό μελέτη πληθυσμού παρουσιάζονται στους πίνακες 2 και 3, για τους ενήλικους και τα παιδιά αντίστοιχα.

Ανθρωπομετρικοί Δείκτες	Νέοι άνδρες (n=19)	Νέες γυναίκες (n=9)	Σύνολο (n=28)	p-value
	Μέσος όρος ± Τ.Α	Μέσος όρος ± Τ.Α	Μέσος όρος ± Τ.Α	
Ηλικία (έτη)	29.05 ± 9.78	22.11 ± 1.90	26.82 ± 8.70	0.007
Ύψος (cm)	178.89 ± 6.84	167.00 ± 5.79	175.07 ± 8.55	0.000*
Βάρος (kg)	82.38 ± 14.81	64.34 ± 13.16	79.59 ± 16.47	0.004
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.59 ± 3.36	22.91 ± 3.26	24.73 ± 3.51	0.057
Δερμ/χή τρικέφαλου (mm)	11.15 ± 4.68	17.78 ± 6.50	13.28 ± 6.09	0.005
Δερμ/χή γάμπας (mm)	12.16 ± 3.70	18.82 ± 4.01	14.30 ± 4.89	0.000*
Περιφέρεια Μέσης (cm)	88.58 ± 9.32	75.00 ± 8.73	84.21 ± 11.05	0.001
Περιφέρεια γοφού (cm)	104.53 ± 8.44	100.33 ± 10.11	103.18 ± 9.04	0.259
WHR	0.84 ± 0.05	0.74 ± 0.06	0.81 ± 0.07	0.000*

Πίνακας 2: Οι ανθρωπομετρικοί δείκτες των ενηλίκων (\*P<0.001)

Στον πίνακα 2 μέσω των αντίστοιχων τιμών της p βρέθηκε πως όλοι οι δείκτες που μελετήθηκαν, με εξαίρεση τον δείκτη μάζας σώματος (BMI) και την περιφέρεια γοφών. Βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο φύλων στις πτυχώσεις και στο WHR (p<0.01 και στις τρεις παραμέτρους και p>0.2 στις υπόλοιπες).

Ανθρωπομετρικοί Δείκτες	Αγόρια (n=15)	Κορίτσια (n=11)	Σύνολο (n=26)	p-value
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Ηλικία (έτη)	11.27 ± 2.74	12.36 ± 2.11	11.73 ± 2.51	0.279
Υψος (cm)	149.40 ± 16.71	151.91 ± 13.66	150.46 ± 15.25	0.687
Βάρος (kg)	45.27 ± 14.42	47.78 ± 11.91	46.33 ± 13.22	0.642
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	19.85 ± 3.32	20.37 ± 2.92	20.07 ± 3.11	0.681
Δερμ/χή τρικέφαλου (mm)	16.70 ± 4.61	22.50 ± 4.85	19.15 ± 5.46	0.005
Δερμ/χή γάμπας (mm)	15.37 ± 3.12	18.91 ± 2.82	17.08 ± 3.26	0.007
Περιφέρεια Μέσης (cm)	68.00 ± 8.73	65.64 ± 6.07	67.00 ± 7.67	0.449
Περιφέρεια γοφού (cm)	81.87 ± 10.1	85.18 ± 9.53	83.27 ± 9.76	0.403
WHR	0.83 ± 0.04	0.77 ± 0.04	0.80 ± 0.05	0.001

Πίνακας 3: Οι ανθρωπομετρικοί δείκτες των παιδιών

Από τον πίνακα 3 συμπεραίνουμε πως οι δερματοπτυχές του τρικέφαλου και της γάμπας καθώς και η αναλογία μέσης- γοφών παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των αγοριών και των κοριτσιών που συμμετείχαν στην μελέτη. Όλοι οι υπόλοιποι δείκτες, δεδομένου ότι χαρακτηρίζονται από τιμή  $p > 0.2$ , δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο φύλων.

Εκτός από τους ανθρωπομετρικούς δείκτες μελετήθηκαν και άλλες παράμετροι που αφορούν την σύσταση σώματος μέσω του αναλυτή BIA. Οι μέσες τιμές (Μέση Τιμή ± ΤΑ) των παραμέτρων αυτών για τον υπό μελέτη πληθυσμό παρουσιάζονται στους πίνακες 4 και 5, για τους ενήλικες και τα παιδιά αντίστοιχα.

Μετρήσεις BIA	Νέοι άνδρες (n=19)	Νέες γυναίκες (n=9)	Σύνολο (n=28)	p-value
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Λίπος(kg)	13.46 ± 7.56	16.31 ± 7.96	14.37 ± 7.66	0.368
Μη λίπος(kg)	68.93 ± 8.58	48.04 ± 5.65	62.21 ± 12.54	0.000*
Νερό(lt)	48.64 ± 5.29	33.21 ± 3.04	43.68 ± 8.68	0.000*
Z (5kHz) (Ω)	521.97 ± 56.41	668.61 ± 51.03	569.11 ± 88.07	0.000*
Z (50kHz) (Ω)	448.13 ± 41.38	592.00 ± 48.00	494.38 ± 80.66	0.000*
R (50kHz) (Ω)	444.18 ± 41.21	588.72 ± 48.10	490.64 ± 80.89	0.000*
Xc (50kHz) (Ω)	58.50 ± 7.08	62.14 ± 4.14	59.67 ± 6.44	0.100
(Ht) <sup>2</sup> /R (cm <sup>2</sup> /Ω)	72.72 ± 8.42	47.70 ± 4.97	64.68 ± 14.01	0.000*
Γωνία φάσης (°)	7.51 ± 0.72	6.06 ± 0.57	7.04 ± 0.96	0.000*

Πίνακας 4: Τα αποτελέσματα της βιοηλεκτρικής εμπέδησης για τους ενήλικους (\*P<0.001)

Για τους νεαρούς άνδρες το μέσο %BF= 15.53±5.83 ενώ το μέσο %TBW=59.78±4.90 ενώ για τις νεαρές γυναίκες το μέσο %BF= 24.32±6.29 ενώ το μέσο %TBW=52.59±5.77.

Στον Πίνακα 4 παρατηρούμε πως εκτός από την μάζα λίπους στο σώμα και τη χωρητική αντίσταση  $X_c$ , ( $p=0.368$ , και  $0.100$ , αντίστοιχα) όλες οι υπόλοιπες παράμετροι παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο φύλα ( $p<0.001$ ).

Μετρήσεις BIA	Αγόρια (n=15)	Κορίτσια (n=11)	Σύνολο (n=26)	p-value
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Λίπος(kg)	9.32 ± 4.75	11.63 ± 3.64	10.30 ± 4.39	0.192
Μη λίπος(kg)	35.95 ± 11.81	36.15 ± 9.26	36.04 ± 10.60	0.962
Νερό(lt)	27.06 ± 8.63	27.37 ± 6.81	27.19 ± 7.76	0.921
Z (5kHz) ( $\Omega$ )	664.40 ± 87.21	696.45 ± 96.01	677.96 ± 90.59	0.384
Z (50kHz) ( $\Omega$ )	592.37 ± 85.28	625.86 ± 96.90	606.54 ± 90.07	0.359
R (50kHz) ( $\Omega$ )	589.27 ± 85.24	622.82 ± 97.20	603.46 ± 90.19	0.359
$X_c$ (50kHz) ( $\Omega$ )	59.84 ± 7.01	62.88 ± 4.75	61.13 ± 6.18	0.222
$(Ht)^2/R$ ( $cm^2/\Omega$ )	39.73 ± 13.09	38.40 ± 9.43	39.16 ± 11.49	0.778
Γωνία φάσης ( $^\circ$ )	5.87 ± 0.76	5.86 ± 0.82	5.87 ± 0.77	0.992

Πίνακας 5: Τα αποτελέσματα της βιοηλεκτρικής εμπέδησης για τα παιδιά

Για τα αγόρια το μέσο %BF= 20.58±8.05 ενώ το μέσο %TBW=59.92±5.78 ενώ για τα κορίτσια το μέσο %BF= 22.44±4.41 ενώ το μέσο %TBW=57.32±3.10.

Μέσω του πίνακα 5 συμπεραίνουμε ότι μεταξύ των δύο φύλων δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p>0.10$ ) για όλες τις παραμέτρους που αξιολογήθηκαν.

## 6.4 Διερεύνηση του πρωτοκόλλου

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, (βλ. ενότητα 3.7), το υπάρχον πρωτόκολλο για την διεξαγωγή μετρήσεων βιοηλεκτρικής εμπέδησης προϋποθέτει το εξεταζόμενο άτομο να απέχει από κάθε είδους βρώσιμης ή πόσιμης τροφής για τουλάχιστον τρεις ώρες, να μην έχει αθληθεί το τελευταίο δωδεκάωρο, το δέρμα του να είναι στεγνό, και κατά την διάρκεια των μετρήσεων το άτομο να είναι ξαπλωμένο με τα άκρα του χαλαρά χωρίς να έρχονται σε επαφή με τον κορμό.

Θέλοντας λοιπόν να διερευνήσουμε την επίδραση που επιφέρουν στα αποτελέσματα μια πιθανή μη πιστή εφαρμογή του πρωτοκόλλου μελετήθηκαν οι εξής παράμετροι:

- Η αλλαγή της στάσης του σώματος του εξεταζόμενου

- Η συστολή μυός
- Η αλλαγή της κατάστασης του δέρματος του, καθώς και
- Η λήψη μισού λίτρου (0.5 lt) νερού

Από το συνολικό δείγμα των 54 εθελοντών που μελετήθηκαν συνολικά επιλέχθηκε υποομάδα από 15 ενήλικα άτομα για τη μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων, των οποίων τα γενικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα. Το εύρος ηλικιών των εθελοντών ήταν από 21 έως 29 έτη.

Ανθρωπομετρικοί Δείκτες	Νέοι άνδρες (n=9)	Νέες γυναίκες (n=6)	Σύνολο (n=15)	p-value
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Ηλικία (έτη)	25.44 ± 2.24	22.67 ± 1.37	24.33 ± 2.35	0.018
Ύψος (cm)	177.00 ± 6.65	166.83 ± 6.55	172.93 ± 8.20	0.012
Βάρος (kg)	84.14 ± 15.59	66.52 ± 14.24	77.09 ± 17.07	0.045
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.27 ± 3.21	23.71 ± 3.36	25.46 ± 3.49	0.109
Δερμ/χή τρικέφαλου (mm)	11.46 ± 5.60	19.64 ± 7.39	14.73 ± 7.40	0.029
Δερμ/χή γάμπας (mm)	11.49 ± 3.57	19.95 ± 3.88	14.87 ± 5.57	0.001
Περιφέρεια Μέσης (cm)	88.33 ± 9.34	77.00 ± 9.21	83.80 ± 10.64	0.038
Περιφέρεια γοφού (cm)	106.00 ± 9.23	101.00 ± 10.88	104.00 ± 9.87	0.355
WHR	0.83 ± 0.05	0.76 ± 0.07	0.80 ± 0.06	0.035

Πίνακας 6: Ανθρωπομετρικοί δείκτες των ατόμων που συμμετείχαν στην διερεύνηση του πρωτοκόλλου

#### 6.4.1 Περιγραφή των διαδικασιών μέτρησης

Οι μετρήσεις των ατόμων που έγιναν κατά την προκαταρκτική μελέτη διεξήχθησαν το διάστημα 16/10/2018- 13/11/2018 στο Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Ιατρικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατόπιν ενημέρωσης των συμμετεχόντων σχετικά με τις ώρες νηστείας και αποχής από οποιαδήποτε αθλητική δραστηριότητα έντονου ρυθμού που έπρεπε να ακολουθήσουν.

Για κάθε συμμετέχοντα σημειωνόταν η ηλικία και μετριούταν το ύψος, το βάρος, η δερματοπτυχή του τρικέφαλου και της γάμπας καθώς και η περίμετρος της μέσης και του γοφού. Στην συνέχεια ζητήθηκε από το εκάστοτε άτομο να καθίσει σε χαλαρή στάση με τα άκρα να μην έρχονται σε επαφή μεταξύ τους αλλά ούτε και με το υπόλοιπο σώμα. Ακολούθως τοποθετούνταν τα ηλεκτρόδια σύμφωνα με το πρωτόκολλο μέτρησης και τις οδηγίες του κατασκευαστή και εισάγονταν τα απαραίτητα δεδομένα στο μετρητικό σύστημα για την

διεξαγωγή της μέτρησης. Τέλος πιέζοντας το κατάλληλο κουμπί παρέχονταν η προβλεπόμενη ένταση ρεύματος στο σώμα του ατόμου. Σε διάστημα μερικών δευτερολέπτων η μέτρηση είχε ολοκληρωθεί.

Στην συνέχεια ζητούνταν από το άτομο να ξαπλώσει ανάσκελα στο πάτωμα πάνω σε στρώμα γυμναστικής και να απομακρύνει τα άκρα του από τον κορμό έτσι ώστε να σχηματίζεται κατά προσέγγιση μια γωνία  $30^\circ$  μεταξύ του κάθε χεριού και του κορμού και γωνία  $45^\circ$  μεταξύ των ποδιών. Ακολουθώντας την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω παίρναμε την μέτρηση για την οριζόντια στάση. Αμέσως μετά, ενώ το άτομο παρέμενε σε οριζόντια στάση του ζητούνταν να κλείσει το δεξί του χέρι, πάνω στο οποίο υπήρχαν τα ηλεκτρόδια, με τέτοιο τρόπο ώστε ο πήχης και το μπράτσο του να έρχονται σε επαφή (Εικόνα 6.4) και σε αυτήν την στάση παίρναμε την επόμενη μέτρηση. Αμέσως μετά ζητούνταν από το άτομο να κατεβάσει το χέρι του ώστε να εφάπτεται ξανά με το επίπεδο.



Εικόνα 6.4: Η στάση του σώματος κατά την διερεύνηση της επίδρασης της συστολής του μυ

Για την επόμενη μέτρηση, αρχικά αφαιρούνταν τα τέσσερα επιθέματα πάνω στα οποία πιάνονταν τα ηλεκτρόδια, στο δέρμα του ατόμου απλωνόταν μια λεπτή στρώση νερού και στην συνέχεια τοποθετούνταν πάλι προσέχοντας το νέο σημείο τοποθέτησης τους να συμπίπτει όσο είναι δυνατό με το προηγούμενο. Για τις επόμενες δυο μετρήσεις ακολουθούνταν η ίδια ακριβώς διαδικασία μόνο που αντί για νερό στην μία περίπτωση τοποθετούσαμε μια στρώση φυσιολογικού ορού και στην αμέσως επόμενη μέτρηση μια στρώση μη λιπαρής κρέμας (oil-free cream). Τέλος ζητήθηκε από το άτομο να πιεί μισό λίτρο νερό δίνοντας του ένα χρονικό όριο 5 λεπτών και αμέσως μετά πήραμε την τελευταία μέτρηση σε οριζόντια στάση. Για κάθε

μία από τις επτά καταστάσεις μέτρησης λάβαμε δύο μετρήσεις και τελικά υπολογίσαμε τον μέσο όρο των δυο τιμών σε κάθε περίπτωση.

Τα δεδομένα και των 15 ατόμων συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS. Στην μελέτη αυτή οι μετρήσεις εμφανίζουν ατομική αντιστοιχία, δηλαδή δεν είναι ανεξάρτητες λόγω του ότι για κάθε άτομο πραγματοποιούνταν μια σειρά μετρήσεων κάνοντας κάποια αλλαγή στη στάση του σώματος του ή στην κατάσταση του δέρματος του. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος t σε ζεύγη (paired sample t-test) για την μελέτη της επίδρασης στα αποτελέσματα κάθε ατόμου. Η αντιστοιχία αυτή χρησιμοποιείται για να ελαττώσει την επιρροή από εξωτερικούς παράγοντες που αυξάνουν την μεταβλητότητα των μετρήσεων και δεδομένου ότι οι μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί στα ίδια άτομα ένα σημαντικό μέρος της βιολογικής μεταβλητότητας που υπάρχει μεταξύ των ανθρώπων εξαφανίζεται. Αυτό που τελικά πετυχαίνουμε με την επιλογή του t-test σε ζεύγη σε αυτήν την περίπτωση είναι να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα.

#### **6.4.2 Μελέτη κανονικότητας δείγματος**

Επόμενο βήμα στην ανάλυση αποτέλεσε η διερεύνηση των δεδομένων όσον αφορά την κανονικότητα. Αρχικά ερευνήθηκε η κανονικότητα μέσω της κατασκευής των γραφημάτων κανονικότητας και στην συνέχεια η κανονικότητα επιβεβαιώθηκε με τη χρήση του κριτηρίου κανονικότητας Shapiro-Wilk στο SPSS.

Μέσω των γραφημάτων πήραμε μια πρώτη ένδειξη ότι όλα τα μετρούμενα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν στα πλαίσια αυτής της μελέτης φαίνεται να ακολουθούν την κανονική κατανομή. Ωστόσο επειδή ο γραφικός έλεγχος δεν βασίζεται σε κάποιο στατιστικό κριτήριο έγινε χρήση του κριτηρίου Shapiro-Wilk για απόκτηση αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Από τον έλεγχο αυτό διαπιστώθηκε πως για όλες τις περιπτώσεις αλλά και για το σύνολο των δεδομένων που αφορούν το λίπος, την άλιπη μάζα σώματος, την ποσότητα νερού και τις αντιστάσεις R, Z και Xc η αντίστοιχη τιμή της  $p > 0.2$ . Με τον τρόπο αυτό επιβεβαιώθηκε η κανονικότητα των τιμών για τις διαφορετικές στάσεις σώματος αλλά και για τις διαφορετικές καταστάσεις του δέρματος των συμμετεχόντων.



## 6.4.3 Έλεγχος δεδομένων

### 6.4.3.1 Έλεγχος Anova

Αρχικά μελετήθηκε η συνολική ποσότητα του νερού και για τις επτά καταστάσεις που συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα μελέτη (Πίνακας 7).

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ (lt) ΣΤΟ ΣΩΜΑ							
	ΞΑΠΛΩΜΕΝΟΙ	ΚΑΘΙΣΤΟΙ	ΣΥΣΤΟΛΗ ΜΥ	ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΣΤΡΩΣΗ ΦΥΣ. ΟΡΟΥ	ΣΤΡΩΣΗ ΚΡΕΜΑΣ	ΛΗΨΗ 0.5lt ΝΕΡΟ
mean	43.40	44.58	44.85	43.11	43.04	42.94	42.72
Std. error of mean	2.33	2.42	2.36	2.32	2.31	2.31	2.30
median	45.50	46.20	47.30	45.00	44.90	44.75	44.80
Std. Dev	9.03	9.38	9.15	8.97	8.95	8.95	8.91
min	29.80	30.50	31.40	29.90	29.90	29.75	29.35
max	57.95	59.75	58.95	57.45	57.30	57.30	56.90
25% percentile	34.80	35.15	36.05	34.55	34.70	34.50	34.35
75% percentile	50.20	51.50	51.70	49.75	50.00	49.40	49.30
lower 95% Con. Interv	38.40	39.38	39.79	38.14	38.08	37.98	37.79
upper 95% Con. Interv	48.41	49.78	49.92	48.07	48.00	47.89	47.66

Πίνακας 7 : Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για την ποσότητα του νερού (lt) στο σώμα των συμμετεχόντων

Ενώ στην συνέχεια εκτελέστηκε ο έλεγχος ANOVA (one way repeated measures Anova) στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS. Ο συγκεκριμένος έλεγχος χρησιμοποιείται για την σύγκριση 3 ή περισσότερων, μέσων τιμών ομάδων όπου οι συμμετέχοντες είναι οι ίδιοι σε κάθε ομάδα. Αυτό συμβαίνει σε δύο περιπτώσεις:

1. Όταν οι συμμετέχοντες μετριοούνται πολλές φορές για να παρατηρηθεί η ύπαρξη αλλαγών όταν συμβαίνει κάποια παρέμβαση.
2. Όταν οι συμμετέχοντες υποβάλλονται σε περισσότερες από μία συνθήκες/ δοκιμές και η ανταπόκριση σε κάθε μια από αυτές τις συνθήκες είναι επιθυμητό να μελετηθεί.

Αρχικά, για την εύκολη ανάγνωση των πινάκων που προέκυψαν από το στατιστικό πρόγραμμα είναι σημαντική να αναφερθεί η κωδικοποίηση που επιλέχθηκε. Έτσι λοιπόν:

- Η κατάσταση 1 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε οριζόντια στάση
- Η 2 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε καθιστή στάση
- Η 3 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε οριζόντια στάση με το μπράτσο και τον πήχη του δεξιού χεριού να εφάπτονται

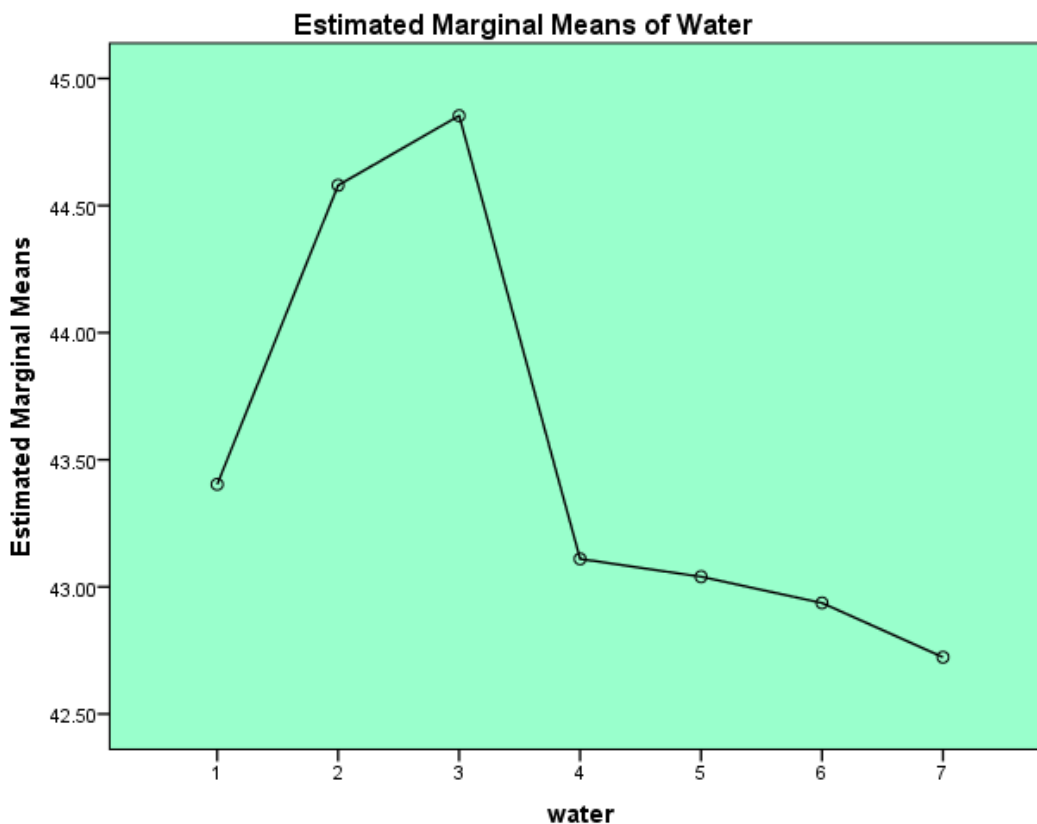
- Η 4 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε οριζόντια στάση ενώ υπήρχε λεπτή στρώση νερού κάτω από τα ηλεκτρόδια
- Η 5 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε οριζόντια στάση ενώ υπήρχε λεπτή στρώση φυσιολογικού ορού κάτω από τα ηλεκτρόδια
- Η 6 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε οριζόντια στάση ενώ υπήρχε λεπτή στρώση κρέμας κάτω από τα ηλεκτρόδια
- Η 7 → αναφέρεται στην ποσότητα του νερού (lt), όταν τα άτομα ήταν σε οριζόντια στάση ενώ είχαν καταναλώσει 0.5 lt νερού

Από τον στατιστικό έλεγχο παρατηρούμε πως τα δεδομένα για την ποσότητα νερού στο σώμα παραβιάζουν την υπόθεση της σφαιρικότητας, (ως σφαιρικότητα ορίζεται η κατάσταση όπου οι διαφορές των διακυμάνσεων των τιμών μεταξύ όλων των συνδυασμών των σχετικών ομάδων ή επιπέδων είναι ίσες), καθώς η  $p\text{-value} < 0.001$ , οπότε εξετάζουμε τις διορθώσεις του Greenhouse-Geisser (98). Από όπου παρατηρούμε ότι όταν χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος Anova με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και διορθώσεις Greenhouse-Geisser, η μέση ποσότητα νερού στο σώμα εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές,  $F(2.366, 33.125) = 79.79$  με  $p\text{-value} < 0.001$ .

Επίσης από τον πίνακα 8 συγκρίνοντας τις καταστάσεις 2-7 με την κατάσταση 1, που αποτελεί και την προτεινόμενη στάση του πρωτοκόλλου, παρατηρούμε πως υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ποσότητα του νερού καθώς η τιμή  $p\text{-value}$  για κάθε σύγκριση είναι μικρότερη από το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5% που έχει επιλεγεί.

(I) water	(J) water	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-1.177	.171	.000	-1.808	-.545
	3	-1.450	.153	.000	-2.016	-.884
	4	.293	.043	.000	.133	.454
	5	.363	.070	.003	.104	.623
	6	.467	.070	.000	.207	.726
	7	.680	.065	.000	.439	.921

Πίνακας 8: Η σύγκριση της ποσότητας σωματικού νερού (lt) των ατόμων μεταξύ των μελετώμενων καταστάσεων



Εικόνα 6.5: Η γραφική απεικόνιση της μέσης ποσότητας νερού (lt) στο σώμα για το σύνολο των περιπτώσεων που μελετήθηκαν

Ομοίως μελετήθηκε και η ποσότητα του σωματικού λίπους των συμμετεχόντων. Η κωδικοποίηση που χρησιμοποιήθηκε είναι πανομοιότυπη με αυτήν στην περίπτωση του νερού (Πίνακας 9).

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΛΙΠΟΥΣ (Kg) ΣΤΟ ΣΩΜΑ							
	ΞΑΠΛΩΜΕΝΟΙ	ΚΑΘΙΣΤΟΙ	ΣΥΣΤΟΛΗ ΜΥ	ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΣΤΡΩΣΗ ΦΥΣ.ΟΡΟΥ	ΣΤΡΩΣΗ ΚΡΕΜΑΣ	ΛΗΨΗ 0.5lt ΝΕΡΟ
mean	14.97	13.86	13.59	15.24	15.33	15.42	15.56
Std. error of mean	2.19	2.17	2.25	2.20	2.21	2.21	2.21
median	12.60	11.90	11.15	12.60	12.65	13.00	13.10
Std. Dev	8.48	8.40	8.72	8.54	8.57	8.57	8.55
min	6.15	5.95	4.10	6.40	6.30	6.45	6.85
max	34.70	33.55	33.70	35.10	35.15	35.50	35.60
25% percentile	10.00	8.80	8.05	10.20	10.25	10.10	10.30
75% percentile	15.80	15.30	14.90	16.15	16.50	16.50	16.50
lower 95% Con. Interv	10.28	9.21	8.76	10.51	10.58	10.68	10.83
upper 95% Con. Interv	19.67	18.51	18.41	19.97	20.07	20.17	20.30

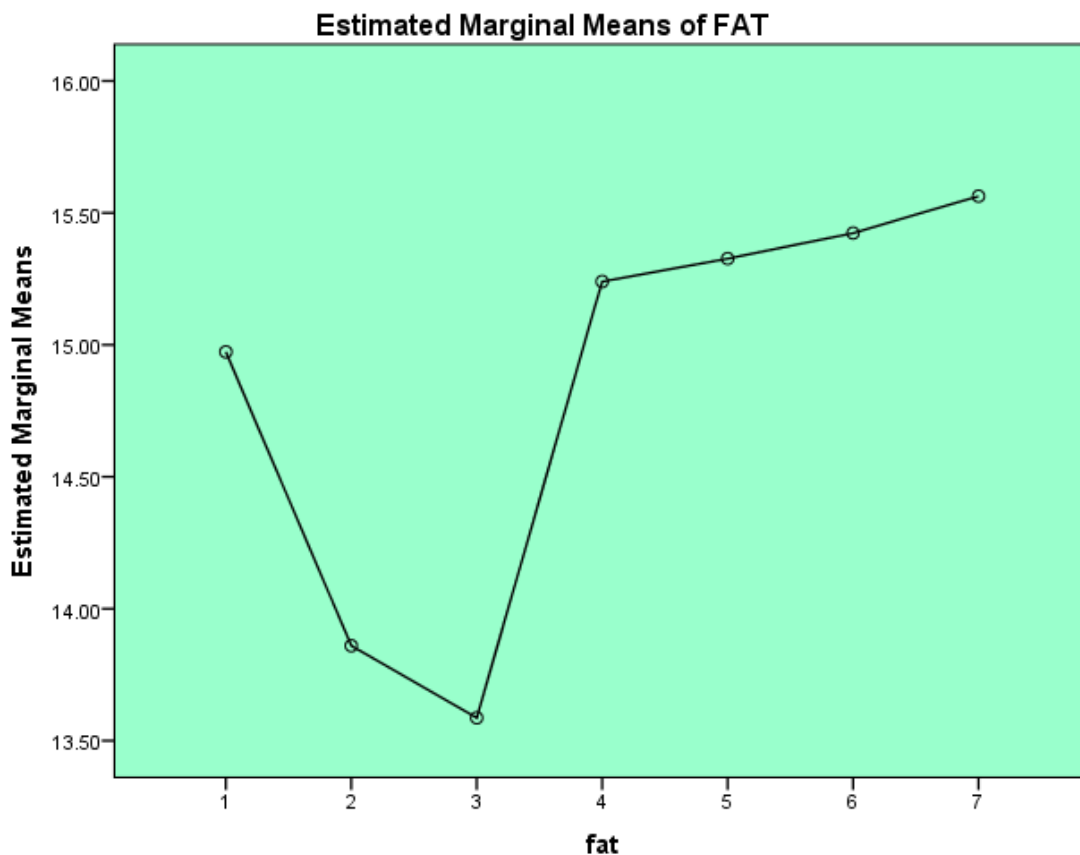
Πίνακας 9: Τα περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για την ποσότητα του σωματικού λίπους (kg) των συμμετεχόντων

Από τον στατιστικό έλεγχο παρατηρούμε πως τα δεδομένα για την ποσότητα του σωματικού λίπους παραβιάζουν την υπόθεση της σφαιρικότητας, καθώς η  $p\text{-value} < 0.001$ , οπότε εξετάζουμε τις διορθώσεις που προτάθηκαν το 1959 από τους S.W.Greenhouse και S.Geisser. Από όπου παρατηρούμε ότι όταν χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος ANOVA με επαναλαμβανόμενες μετρήσεις και διορθώσεις Greenhouse-Geisser, η μέση ποσότητα λίπους στο σώμα εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές,  $F(2.132, 29.844) = 93.98$  με  $p\text{-value} < 0.001$ .

Επίσης από τον Πίνακα 10 συγκρίνοντας τις καταστάσεις 2-7 με την κατάσταση 1, που αποτελεί και την προτεινόμενη στάση του πρωτοκόλλου, παρατηρούμε πως υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ποσότητα του νερού καθώς η τιμή  $p\text{-value}$  για κάθε σύγκριση είναι μικρότερη από το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5% που έχει επιλεγεί.

(I) fat	(J) fat	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval for Difference <sup>b</sup>	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	1.113	.145	.000	.578	1.649
	3	1.387	.131	.000	.901	1.872
	4	-.267	.043	.000	-.426	-.108
	5	-.353	.063	.001	-.585	-.122
	6	-.450	.061	.000	-.676	-.224
	7	-.590	.046	.000	-.760	-.420

Πίνακας 10: Η σύγκριση της μάζας σωματικού λίπους των ατόμων (kg) μεταξύ των μελετώμενων καταστάσεων



Εικόνα 6.6: Η γραφική απεικόνιση της μέσης ποσότητας νερού (lt) στο σώμα για το σύνολο των περιπτώσεων που μελετήθηκαν

### 6.4.3.2 Μη Παραμετρικός έλεγχος δεδομένων

Παρόλο που τα δεδομένα της παρούσας μελέτης μπορεί να θεωρηθούν ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή χρησιμοποιήθηκε και ο μη παραμετρικός έλεγχος των δεδομένων για την καλύτερη κατανόηση του δείγματος. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε ο έλεγχος Wilcoxon ο οποίος είναι ο μη παραμετρικός ισοδύναμος του t-test για εξαρτημένα δείγματα. Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου ελέγχου απαιτείται η εξαρτημένη μεταβλητή να είναι διατακτική ή συνεχής, η ανεξάρτητη να αποτελείται από δύο σχετιζόμενες ομάδες ή ζεύγη και η κατανομή μεταξύ των διαφορών των δύο ομάδων να είναι συμμετρική. Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως ο έλεγχος Wilcoxon χρησιμοποιείται για τη σύγκριση δύο ομάδων τιμών που προέρχονται από τους ίδιους συμμετέχοντες. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν θέλουμε να διερευνήσουμε οποιαδήποτε αλλαγή στις τιμές από το ένα χρονικό σημείο στο άλλο ή όταν τα άτομα υποβάλλονται σε περισσότερες από μία καταστάσεις, κάτι το οποίο συνέβη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Και σε αυτήν την περίπτωση όλες οι καταστάσεις μέτρησης

συγκρίθηκαν με εκείνη που το άτομο βρίσκεται ξαπλωμένο οριζόντια έχοντας χαλαρά και ανοιχτά τα άκρα του ώστε να μην υπάρχει επαφή μεταξύ τους αλλά ούτε και με τον κορμό.

Ο συγκεντρωτικός πίνακας που παρουσιάζει την μέση και την διάμεση τιμή του λίπους, της άλιπης μάζας, της ποσότητας του νερού και των αντιστάσεων Z, R και Xc για όλες τις περιπτώσεις παρουσιάζεται παρακάτω.

		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
ξαπλωμένοι	Μέση τιμή	14.97	62.12	43.40	485.70	481.97	59.15
	Διάμεση	12.60	64.20	45.50	460.50	456.50	60.60
		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
καθιστοί	Μέση τιμή	13.86	63.23	44.58	464.27	461.17	53.97
	Διάμεση	11.90	64.80	46.20	466.50	443.50	55.35
		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
συστολή μυός	Μέση τιμή	13.59	63.51	44.85	457.93	453.93	59.15
	Διάμεση	11.15	65.70	47.30	428.50	424.00	60.55
		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
στρώση νερού	Μέση τιμή	15.24	61.85	43.11	491.20	487.40	60.55
	Διάμεση	12.60	63.80	45.00	465.00	460.50	60.75
		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
στρώση φ.ο	Μέση τιμή	15.33	61.77	43.04	492.80	489.13	61.24
	Διάμεση	12.65	63.55	44.90	463.00	459.00	61.95
		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
στρώση κρέμας	Μέση τιμή	15.42	61.68	42.93	495.23	491.27	61.90
	Διάμεση	13.00	63.50	44.75	466.00	461.50	62.80
		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
λήψη 0.5 lt νερού	Μέση τιμή	15.56	61.50	42.72	499.40	495.47	61.98
	Διάμεση	13.10	63.60	44.80	474.50	470.00	62.15

Πίνακας 11: Η μέση και διάμεση τιμή για το σύνολο των μεταβλητών που μελετήθηκαν.

Στον Πίνακα 11 μέσω της σύγκρισης της μέσης και διάμεσης τιμής παρατηρούμε πως δεν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν όσον αφορά την σύγκριση των αποτελεσμάτων παρουσία λεπτής στρώσης νερού ή φυσιολογικού ορού κάτω από τα ηλεκτρόδια αλλά και παρουσία φυσιολογικού ορού ή κρέμας. Το συμπέρασμα αυτό τεκμηριώνεται από το γεγονός ότι η τιμή της p όπως προέκυψε από το στατιστικό t-test κατά

ζεύγη ήταν μεγαλύτερη από 0.05 για την σύγκριση των τριών αυτών καταστάσεων. Γεγονός που ενισχύει την μελέτη καθώς δεν προκύπτουν διαφορές για παρόμοιες ομάδες καθώς αυτό που επιτυγχάνεται με την παρουσία των υγρών κάτω από την επιφάνεια των ηλεκτροδίων είναι ουσιαστικά η ενυδάτωση του δέρματος.

- Για την περίπτωση της σύγκρισης των ξαπλωμένων και των καθήμενων ατόμων παρατηρήθηκε ότι η μάζα του μη λίκους και η ποσότητα του νερού και στους 15 συμμετέχοντες είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση των καθήμενων ενώ η μάζα του λίκους και η τιμή των αντιστάσεων Z, R, και Xc είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των ξαπλωμένων ατόμων.
- Για την περίπτωση της σύγκρισης των ξαπλωμένων και των ατόμων που έχουν κλειστό το δεξί τους χέρι παρατηρήθηκε ότι η μάζα του μη λίκους και η ποσότητα του νερού και στους 15 συμμετέχοντες είναι μεγαλύτερη για την περίπτωση των ατόμων που έχουν κλειστό το δεξί χέρι, ώστε ο πήχης και το μπράτσο να εφάπτονται, ενώ η μάζα του λίκους και η τιμή των αντιστάσεων Z και R είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των ξαπλωμένων ατόμων. Για την αντίσταση Xc 8 άτομα εκ των 15 παρουσίασαν μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση που ήταν ξαπλωμένα ενώ για τα υπόλοιπα 7 η τιμή της αντίστασης Xc ήταν μεγαλύτερη όταν είχαν κλειστό το δεξί τους χέρι.
- Στην περίπτωση σύγκρισης των ξαπλωμένων ατόμων με τα άτομα εκείνα που ήταν ξαπλωμένα, αλλά κάτω από τα ηλεκτρόδια υπήρχε λεπτή στρώση νερού ή φυσιολογικού ορού παρατηρήθηκε ότι η μάζα του λίκους και οι τιμές των αντιστάσεων Z, R για τα 14 άτομα είναι μεγαλύτερες με την παρουσία του υγρού και μικρότερες μόνο σε 1 περίπτωση. Η μάζα του μη λίκους και η ποσότητα του νερού για 14 άτομα βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη απουσία της λεπτής στρώσης του υγρού και μικρότερη μόνο σε μια περίπτωση. Τέλος η αντίσταση Xc και για τους 15 συμμετέχοντες είναι μεγαλύτερη παρουσία της λεπτής στρώσης υγρού.
- Στην περίπτωση σύγκρισης των ξαπλωμένων ατόμων με τα άτομα εκείνα που ήταν ξαπλωμένα αλλά κάτω από τα ηλεκτρόδια υπήρχε λεπτή στρώση κρέμας παρατηρήθηκε ότι η μάζα του λίκους για τα 14 άτομα είναι μεγαλύτερη με την παρουσία της κρέμας, ενώ δεν βρέθηκε διαφορά σε ένα άτομο. Η μάζα του μη λίκους και η ποσότητα του νερού για 14 άτομα βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη απουσία της κρέμας, ενώ παρατηρήθηκε ισότητα σε 1 περίπτωση. Οι αντιστάσεις Z και R παρουσίασαν μεγαλύτερη τιμή για 14 από τους συμμετέχοντες παρουσία της κρέμας ενώ σε μια περίπτωση παρατηρήθηκε μικρότερη τιμή απουσία αυτής. Τέλος η αντίσταση Xc και για τους 15 συμμετέχοντες είναι μεγαλύτερη παρουσία της λεπτής στρώσης κρέμας.
- Στην περίπτωση σύγκρισης των ξαπλωμένων ατόμων με τα άτομα εκείνα που ήταν ξαπλωμένα αλλά είχαν καταναλώσει 0.5 lt παρατηρήθηκε ότι η ποσότητα του λίκους

και οι τιμές των αντιστάσεων Z, R και Xc για το σύνολο των συμμετεχόντων παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές στην περίπτωση των ατόμων που είχαν καταναλώσει την προβλεπόμενη ποσότητα νερού. Αντίθετα, η μάζα του μη λίπους και η ποσότητα του νερού βρέθηκαν να είναι μεγαλύτερες για τα άτομα που δεν είχαν καταναλώσει ακόμη το νερό.

Για να διαπιστωθεί κατά πόσο αυτές οι μεταβολές των ποσοτήτων ως προς την συνήθη κατάσταση («ξαπλωμένος») είναι στατιστικά σημαντικές κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας.

		Λίπος (kg)	Μη λίπος (kg)	Νερό (lt)	Z (Ω)	R (Ω)	Xc (Ω)
καθιστοί→ ξαπλωμένοι	p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Z	-3.408	-3.408	-3.409	-3.408	-3.408	-3.408
συστολή μυός→ ξαπλωμένοι	p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.865
	Z	-3.409	-3.409	-3.412	-3.408	-3.408	0.170
στρώση νερού→ ξαπλωμένοι	p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Z	-3.217	-3.217	-3.328	-3.068	-3.068	-3.409
στρώση φ.ο→ ξαπλωμένοι	p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Z	-3.361	-3.361	-3.325	-3.133	-3.218	-3.408
στρώση κρέμας→ ξαπλωμένοι	p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Z	-3.298	-3.298	-3.299	-3.351	-3.351	-3.408
λήψη 0.5 lt νερού→ ξαπλωμένοι	p-value	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	Z	-3.414	-3.414	-3.413	-3.408	-3.409	-3.410

Πίνακας 12: Η τιμή Z και η p-value όπως προέκυψαν από στον μη παραμετρικό έλεγχο Wilcoxon που διενεργήθηκε

Η τιμή της Z στον έλεγχο Wilcoxon είναι πολύ σημαντική καθώς μας βοηθά να αποδεχτούμε ή να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση. Όταν η Z είναι  $< -1.96$  ή  $> 1.96$  τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται. Σε όλες τις συγκρίσεις ως μηδενική υπόθεση θεωρήθηκε η ισότητα των μεταβλητών των συγκρινόμενων καταστάσεων.

Από τον πίνακα συμπεραίνουμε πως για όλες τις περιπτώσεις οι μεταβολές που παρατηρήθηκαν είναι στατιστικά σημαντικές καθώς η p-value ήταν μικρότερη από το στατιστικό όριο του 0.05 που έχει επιλεγεί. Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση της αντίστασης Xc



για την σύγκριση των ξαπλωμένων ατόμων με τα άτομα που ήταν ξαπλωμένα αλλά ο δεξιός πήχης και το μπράτσο τους βρίσκονταν σε επαφή. Για την περίπτωση αυτή η  $p$ -value=0.865>0.05 και η τιμή  $Z=0.170$ .

### 6.4.3.3 Παραμετρικός έλεγχος δεδομένων

Διενεργήθηκε παραμετρικός έλεγχος του συνόλου των τιμών για να ερευνηθεί αν η αλλαγή στην στάση του σώματος και στην κατάσταση του δέρματος των ατόμων που μελετήθηκαν και σε ομάδες και ανά φύλο παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά ως προς την οριζόντια στάση που προτείνεται από το πρωτόκολλο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το  $t$ -test κατά ζεύγη. Βάσει της βιβλιογραφίας προτείνεται η οριζόντια στάση του ατόμου κατά τη διάρκεια της μέτρησης (βλ. ενότητα 3.7), για τον λόγο αυτό σε όλες τις περιπτώσεις διερεύνησης του πρωτοκόλλου συγκρίναμε τα αποτελέσματα των εκάστοτε μετρήσεων με αυτά που προέκυψαν για την οριζόντια στάση του ατόμου. Ακολουθούν οι συγκεντρωτικοί πίνακες για όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Μετρήσεις ΒΙΑ	Νέοι άνδρες(n=9)		Νέες γυναίκες (n=6)		Σύνολο (n=15)		p-value
	ΞΑΠΛΩΜΕΝΟΙ	ΚΑΘΙΣΤΟΙ	ΞΑΠΛΩΜΕΝΟΙ	ΚΑΘΙΣΤΟΙ	ΞΑΠΛΩΜΕΝΟΙ	ΚΑΘΙΣΤΟΙ	
	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	
Λίπος(kg)	13.31 $\pm$ 8.27	12.10 $\pm$ 8.06	17.48 $\pm$ 8.92	16.50 $\pm$ 8.93	14.97 $\pm$ 8.48	13.86 $\pm$ 8.40	0.000*
Μη λίπος(kg)	70.84 $\pm$ 8.17	72.04 $\pm$ 8.51	49.4 $\pm$ 5.88	50.02 $\pm$ 6.02	62.12 $\pm$ 13.14	63.23 $\pm$ 13.38	0.000*
Νερό(lt)	49.71 $\pm$ 4.99	51.07 $\pm$ 5.37	33.95 $\pm$ 3.15	34.84 $\pm$ 3.27	43.40 $\pm$ 9.03	44.58 $\pm$ 9.38	0.000*
Z (50kHz) ( $\Omega$ )	426.83 $\pm$ 34.45	408.39 $\pm$ 34.58	574.00 $\pm$ 41.66	548.08 $\pm$ 40.61	485.70 $\pm$ 82.87	464.27 $\pm$ 79.31	0.000*
R (50kHz) ( $\Omega$ )	422.83 $\pm$ 34.34	405.22 $\pm$ 34.50	570.67 $\pm$ 41.64	545.08 $\pm$ 40.82	481.97 $\pm$ 83.14	461.17 $\pm$ 79.41	0.000*
Χc (50kHz) ( $\Omega$ )	57.28 $\pm$ 6.25	52.55 $\pm$ 5.99	61.80 $\pm$ 4.38	56.10 $\pm$ 5.24	59.15 $\pm$ 5.85	53.97 $\pm$ 5.80	0.000*

Πίνακας 13: Σύγκριση των τιμών του λίπους, της άλιπης μάζας, της συνολικής ποσότητας νερού στο σώμα και των αντιστάσεων Z, R, Χc μεταξύ οριζόντιας και καθιστής στάσης σώματος, (\*P<0.001)

Βάσει του πίνακα συμπεραίνουμε ότι οι διαφορές μεταξύ της ποσότητας λίπους του σώματος, της άλιπης μάζας, της ποσότητας νερού αλλά και των αντιστάσεων για αλλαγή στην στάση του σώματος από καθιστή σε οριζόντια είναι στατιστικά σημαντικές καθώς οι αντίστοιχες τιμές της  $p$  είναι μικρότερες από το στατιστικό όριο του 0.05 που έχουμε θέσει.

Μετρήσεις ΒΙΑ	Νέοι άνδρες(n=9)		Νέες γυναίκες (n=6)		Σύνολο (n=15)		p-value
	ΧΑΛΑΡΟΣ ΜΥΣ	ΣΥΣΤΟΛΗ ΜΥ	ΧΑΛΑΡΟΣ ΜΥΣ	ΣΥΣΤΟΛΗ ΜΥ	ΧΑΛΑΡΟΣ ΜΥΣ	ΣΥΣΤΟΛΗ ΜΥ	
	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	Μέσος όρος $\pm$ T.A	
Λίπος(kg)	13.31 $\pm$ 8.27	11.86 $\pm$ 8.62	17.48 $\pm$ 8.92	16.18 $\pm$ 8.96	14.97 $\pm$ 8.48	13.59 $\pm$ 8.72	0.000*
Μη λίπος(kg)	70.84 $\pm$ 8.17	72.28 $\pm$ 7.85	49.4 $\pm$ 5.88	50.34 $\pm$ 5.84	62.12 $\pm$ 13.14	63.51 $\pm$ 13.09	0.000*
Νερό(lt)	49.71 $\pm$ 4.99	51.35 $\pm$ 4.66	33.95 $\pm$ 3.15	35.11 $\pm$ 3.13	43.40 $\pm$ 9.03	44.85 $\pm$ 9.15	0.000*
Z (50kHz) ( $\Omega$ )	426.83 $\pm$ 34.45	403.61 $\pm$ 28.73	574.00 $\pm$ 41.66	539.42 $\pm$ 36.28	485.70 $\pm$ 82.87	457.93 $\pm$ 75.39	0.000*
R (50kHz) ( $\Omega$ )	422.83 $\pm$ 34.34	399.56 $\pm$ 28.60	570.67 $\pm$ 41.64	535.50 $\pm$ 36.20	481.97 $\pm$ 83.14	453.93 $\pm$ 75.42	0.000*
Χc (50kHz) ( $\Omega$ )	57.28 $\pm$ 6.25	56.79 $\pm$ 6.76	61.80 $\pm$ 4.38	62.68 $\pm$ 4.43	59.15 $\pm$ 5.85	59.15 $\pm$ 6.48	0.992

Πίνακας 14: Σύγκριση των τιμών του λίπους, της άλιπης μάζας, της συνολικής ποσότητας νερού στο σώμα και των αντιστάσεων Z, R, Xc μεταξύ οριζόντιας στάσης σώματος· στην αριστερή στήλη τα άκρα ήταν χαλαρά ενώ στην δεξιά υπήρχε επαφή μεταξύ πήχη και μπράτσου του δεξιού χεριού, (\*P<0.001)

Από τον πίνακα μπορούμε να συμπεραίνουμε ότι οι διαφορές μεταξύ της ποσότητας λίπους του σώματος, της άλιπης μάζας, της ποσότητας νερού και των αντιστάσεων Z, R παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά για τις δύο διαφορετικές θέσεις του χεριού. Αντίθετα, η τιμή της χωρητικής αντίστασης πυκνωτή Xc δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο καταστάσεων.

Μετρήσεις BIA	Νέοι άνδρες(n=9)		Νέες γυναίκες (n=6)		Σύνολο (n=15)		p-value
	ΧΩΡΙΣ ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΧΩΡΙΣ ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΧΩΡΙΣ ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	ΣΤΡΩΣΗ Η <sub>2</sub> O	
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Λίπος(kg)	13.31 ± 8.27	13.60 ± 8.32	17.48 ± 8.92	17.70 ± 9.01	14.97 ± 8.48	15.24 ± 8.54	0.000*
Μη λίπος(kg)	70.84 ± 8.17	70.54 ± 8.15	49.4 ± 5.88	48.82 ± 5.73	62.12 ± 13.14	61.85 ± 13.08	0.000*
Νερό(lt)	49.71 ± 4.99	49.37 ± 4.98	33.95 ± 3.15	33.72 ± 3.01	43.40 ± 9.03	43.11 ± 8.97	0.000*
Z (50kHz) (Ω)	426.83 ± 34.45	432.06 ± 34.77	574.00 ± 41.66	579.92 ± 37.42	485.70 ± 82.87	491.20 ± 82.54	0.000*
R (50kHz) (Ω)	422.83 ± 34.34	428.00 ± 34.70	570.67 ± 41.64	576.50 ± 37.52	481.97 ± 83.14	487.40 ± 82.83	0.000*
Xc (50kHz) (Ω)	57.28 ± 6.25	58.52 ± 5.85	61.80 ± 4.38	63.58 ± 4.83	59.15 ± 5.85	60.55 ± 5.87	0.000*

Πίνακας 15: Σύγκριση των τιμών του λίπους, της άλιπης μάζας, της συνολικής ποσότητας νερού στο σώμα και των αντιστάσεων Z, R, Xc για οριζόντια στάση σώματος με απουσία λεπτής στρώσης νερού κάτω από τα επιθέματα αλλά και με παρουσία του υγρού, (\*P<0.001)

Παρατηρούμε πως όλες οι ποσότητες που μελετήθηκαν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά απουσία και παρουσία του νερού κάτω από τα επιθέματα χωρίς κάποια εξαίρεση.

Μετρήσεις BIA	Νέοι άνδρες(n=9)		Νέες γυναίκες (n=6)		Σύνολο (n=15)		p-value
	ΧΩΡΙΣ Φ. ΟΡΟΥ	ΣΤΡΩΣΗ Φ. ΟΡΟΥ	ΧΩΡΙΣ Φ. ΟΡΟΥ	ΣΤΡΩΣΗ Φ. ΟΡΟΥ	ΧΩΡΙΣ Φ. ΟΡΟΥ	ΣΤΡΩΣΗ Φ. ΟΡΟΥ	
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Λίπος(kg)	13.31 ± 8.27	13.67 ± 8.38	17.48 ± 8.92	17.81 ± 8.99	14.97 ± 8.48	15.33 ± 8.57	0.000*
Μη λίπος(kg)	70.84 ± 8.17	70.47 ± 8.11	49.4 ± 5.88	48.71 ± 5.73	62.12 ± 13.14	61.77 ± 13.08	0.000*
Νερό(lt)	49.71 ± 4.99	49.30 ± 4.94	33.95 ± 3.15	33.65 ± 3.02	43.40 ± 9.03	43.04 ± 8.95	0.000*
Z (50kHz) (Ω)	426.83 ± 34.45	432.94 ± 34.21	574.00 ± 41.66	582.58 ± 38.77	485.70 ± 82.87	492.80 ± 83.45	0.000*
R (50kHz) (Ω)	422.83 ± 34.34	429.11 ± 24.14	570.67 ± 41.64	579.17 ± 39.04	481.97 ± 83.14	489.13 ± 83.67	0.000*
Xc (50kHz) (Ω)	57.28 ± 6.25	59.29 ± 5.71	61.80 ± 4.38	64.17 ± 4.37	59.15 ± 5.85	61.24 ± 5.62	0.000*

Πίνακας 16: Σύγκριση των τιμών του λίπους, της άλιπης μάζας, της συνολικής ποσότητας νερού στο σώμα και των αντιστάσεων Z, R, Xc για οριζόντια στάση σώματος με απουσία λεπτής στρώσης φυσιολογικού ορού κάτω από τα επιθέματα αλλά και με παρουσία του υγρού, (\*P<0.001)

Μελετώντας τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε πως η παρουσία του φυσιολογικού ορού κάτω από τα επιθέματα επιφέρει στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές του λίπους, του μη λίπους, του νερού και των αντιστάσεων.

Μετρήσεις BIA	Νέοι άνδρες(n=9)		Νέες γυναίκες (n=6)		Σύνολο (n=15)		p-value
	ΧΩΡΙΣ ΚΡΕΜΑ	ΣΤΡΩΣΗ ΚΡΕΜΑΣ	ΧΩΡΙΣ ΚΡΕΜΑ	ΣΤΡΩΣΗ ΚΡΕΜΑΣ	ΧΩΡΙΣ ΚΡΕΜΑ	ΣΤΡΩΣΗ ΚΡΕΜΑΣ	
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Λίπος (kg)	13.31 ± 8.27	13.73 ± 8.31	17.48 ± 8.92	17.97 ± 9.07	14.97 ± 8.48	15.42 ± 8.57	0.000*
Μη λίπος(kg)	70.84 ± 8.17	70.42 ± 8.10	49.4 ± 5.88	48.57 ± 5.66	62.12 ± 13.14	61.68 ± 13.11	0.000*
Νερό(lt)	49.71 ± 4.99	49.22 ± 4.88	33.95 ± 3.15	33.51 ± 2.93	43.40 ± 9.03	42.94 ± 8.95	0.000*
Z (50kHz) (Ω)	426.83 ± 34.45	433.72 ± 33.14	574.00 ± 41.66	587.50 ± 39.80	485.70 ± 82.87	495.23 ± 85.29	0.000*
R (50kHz) (Ω)	422.83 ± 34.34	429.61 ± 33.01	570.67 ± 41.64	583.75 ± 39.89	481.97 ± 83.14	491.27 ± 85.44	0.000*
Χc (50kHz) (Ω)	57.28 ± 6.25	59.62 ± 5.88	61.80 ± 4.38	65.31 ± 4.69	59.15 ± 5.85	61.90 ± 5.99	0.000*

Πίνακας 17: Σύγκριση των τιμών του λίπους, της άλιπης μάζας, της συνολικής ποσότητας νερού στο σώμα και των αντιστάσεων Z, R, Χc για οριζόντια στάση σώματος με απουσία λεπτής στρώσης μη λιπαρής κρέμας κάτω από τα επιθέματα αλλά και με παρουσία αυτής, (\*P<0.001)

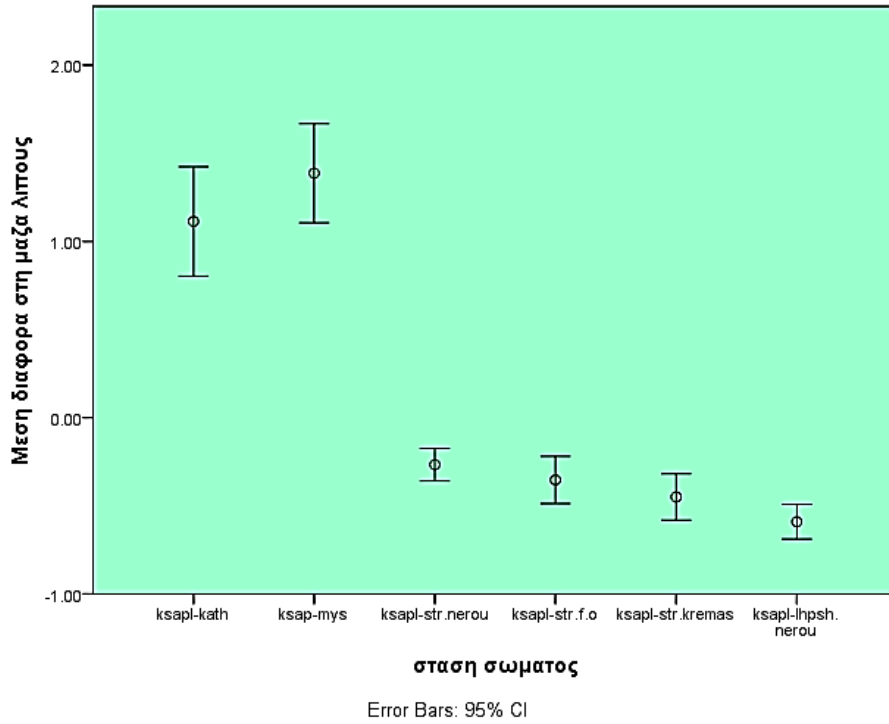
Παρατηρούμε πως η παρουσία μη λιπαρής κρέμας κάτω από τα επιθέματα προκαλεί στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις ποσότητες που μελετήθηκαν δεδομένου ότι οι τιμές της p που προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση σε όλες τις περιπτώσεις βρέθηκαν να είναι μικρότερες από το επιλεγμένο στατιστικό όριο.

Μετρήσεις BIA	Νέοι άνδρες(n=9)		Νέες γυναίκες (n=6)		Σύνολο (n=28)		p-value
	ΧΩΡΙΣ ΛΗΨΗ Η <sub>2</sub> O	ΛΗΨΗ Η <sub>2</sub> O	ΧΩΡΙΣ ΛΗΨΗ Η <sub>2</sub> O	ΛΗΨΗ Η <sub>2</sub> O	ΧΩΡΙΣ ΛΗΨΗ Η <sub>2</sub> O	ΛΗΨΗ Η <sub>2</sub> O	
	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	Μέσος όρος ± T.A	
Λίπος(kg)	13.31 ± 8.27	13.89 ± 8.28	17.48 ± 8.92	18.07 ± 9.08	14.97 ± 8.48	15.56 ± 8.55	0.000*
Μη λίπος(kg)	70.84 ± 8.17	70.20 ± 8.07	49.4 ± 5.88	48.45 ± 5.73	62.12 ± 13.14	61.50 ± 13.06	0.000*
Νερό(lt)	49.71 ± 4.99	48.96 ± 4.89	33.95 ± 3.15	33.38 ± 3.01	43.40 ± 9.03	42.71 ± 8.91	0.000*
Z (50kHz) (Ω)	426.83 ± 34.45	438.11 ± 36.54	574.00 ± 41.66	591.33 ± 44.94	485.70 ± 82.87	499.40 ± 86.72	0.000*
R (50kHz) (Ω)	422.83 ± 34.34	433.89 ± 36.38	570.67 ± 41.64	587.83 ± 45.03	481.97 ± 83.14	495.47 ± 87.03	0.000*
Χc (50kHz) (Ω)	57.28 ± 6.25	59.74 ± 5.61	61.80 ± 4.38	65.33 ± 3.83	59.15 ± 5.85	61.98 ± 5.59	0.000*

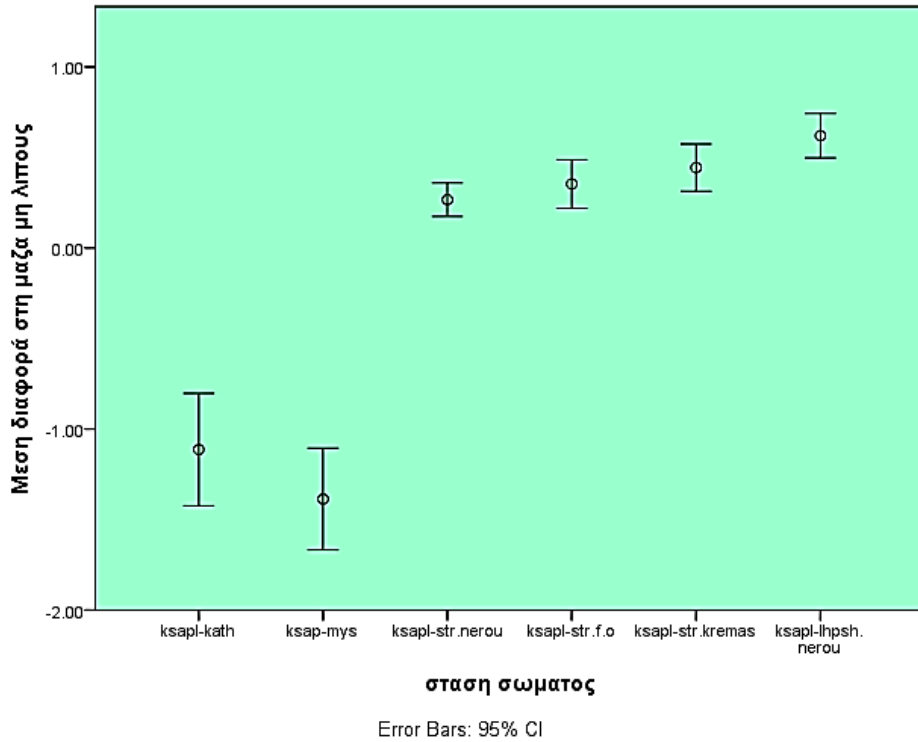
Πίνακας 18: Σύγκριση των τιμών του λίπους, της άλιπης μάζας, της συνολικής ποσότητας νερού στο σώμα και των αντιστάσεων Z, R, Χc για οριζόντια στάση σώματος πριν τη λήψη 0.5 lt από το κάθε άτομο και μετά από την λήψη αυτή, (\*P<0.001)

Μελετώντας τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε πως η λήψη 0.5 lt νερού επηρέασε το σύνολο των μετρούμενων ποσοτήτων και επέφερε στατιστικά σημαντικές διαφορές σε αυτές.

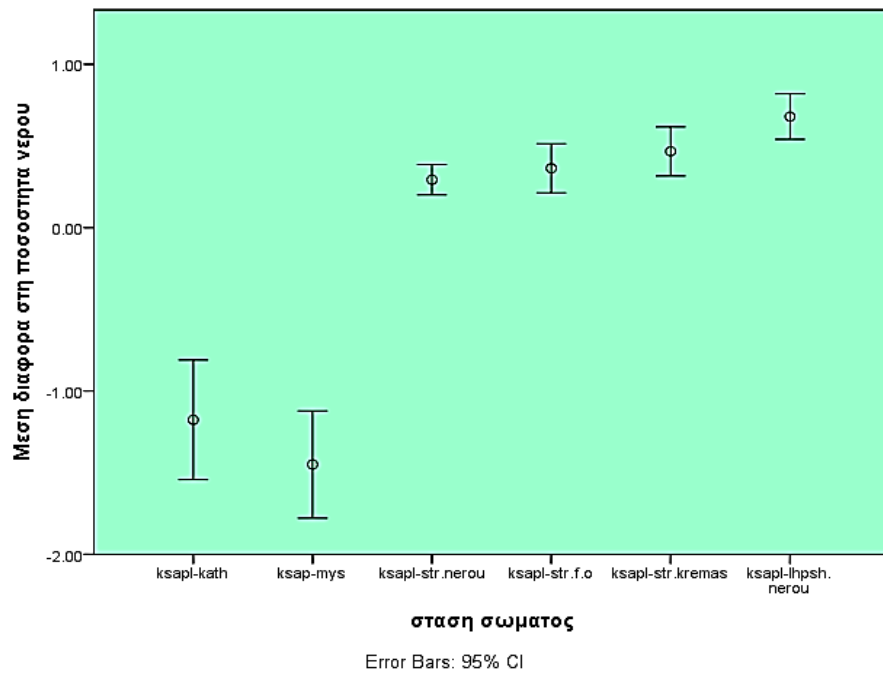
Τελειώνοντας τη διερεύνηση του πρωτοκόλλου, κατασκευάστηκαν και τα γραφήματα για το 95% διάστημα εμπιστοσύνης (95% confidence interval plots) για όλες τις μεταβλητές που μελετήθηκαν και για το σύνολο των συγκρινόμενων καταστάσεων.



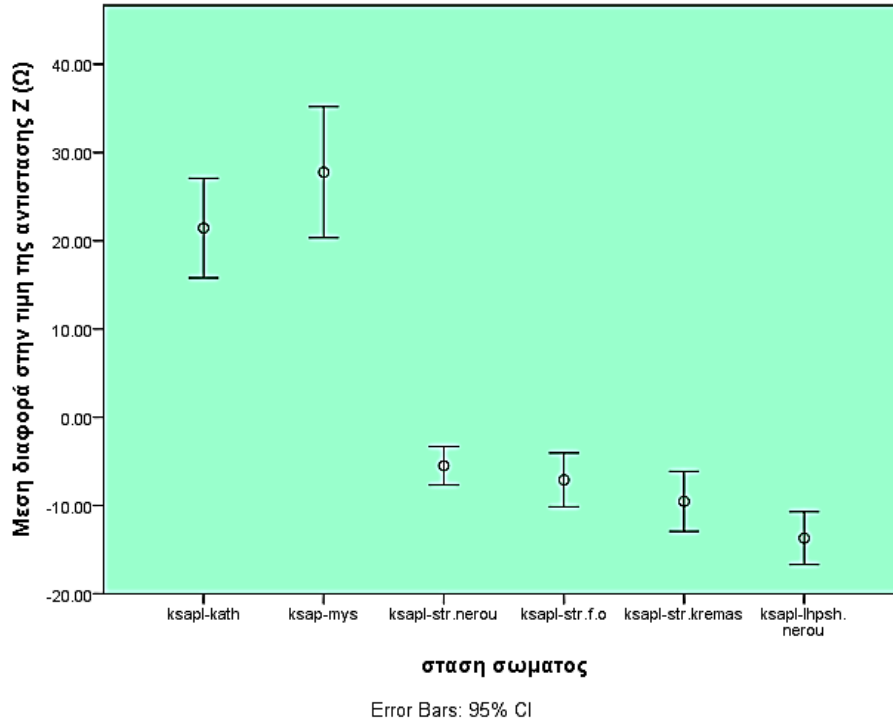
Εικόνα 6.7: Η γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων για την μέση τιμή των διαφορών στην μάζα σωματικού λίπους



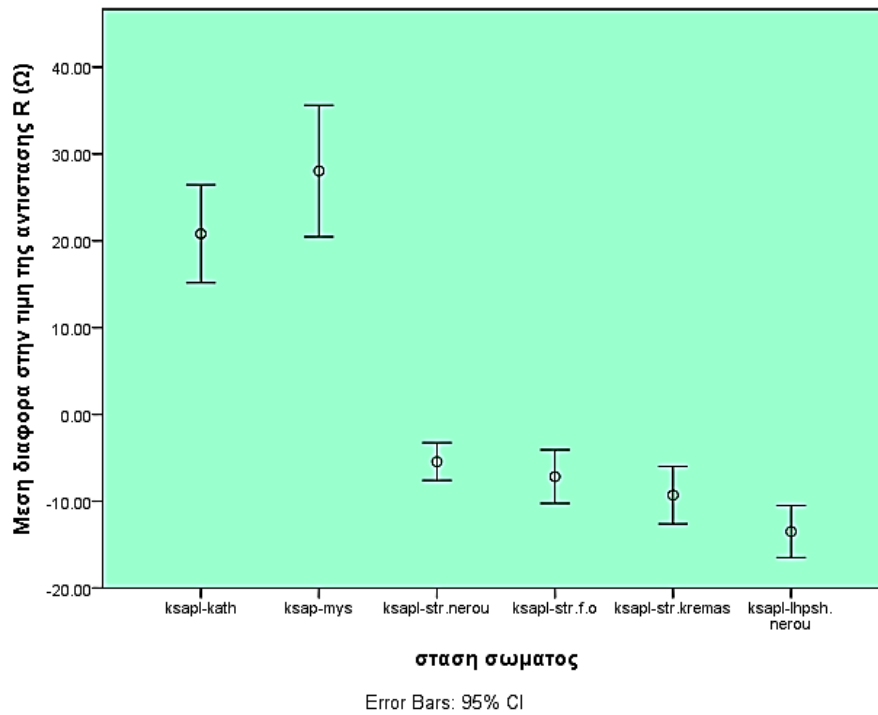
Εικόνα 6.8: Η γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων για την μέση τιμή των διαφορών στην μάζα του μη λίπους



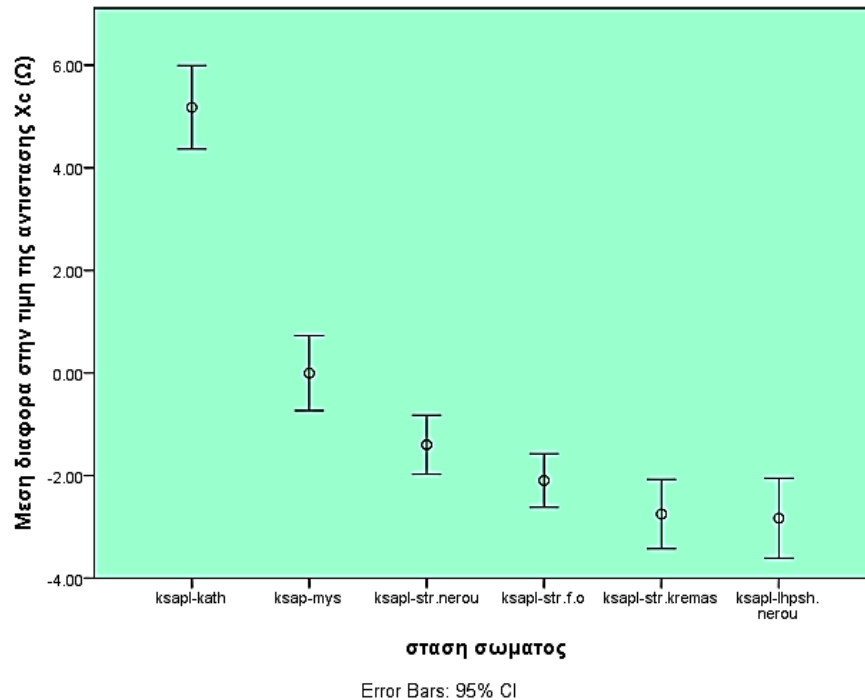
Εικόνα 6.9: Η γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων για την μέση τιμή των διαφορών στην ποσότητα του νερού



Εικόνα 6.10: Η γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων για την μέση τιμή των διαφορών στην τιμή της αντίστασης Z



Εικόνα 6.11: Η γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων για την μέση τιμή των διαφορών στην τιμή της αντίστασης R



Εικόνα 6.12: Η γραφική απεικόνιση των σφαλμάτων για την μέση τιμή των διαφορών στην τιμή της αντίστασης Xc

## 6.5 Προσδιορισμός του ποσοστού λίπους μέσω των δερματοπτυχών

Έχοντας λάβει τις μετρήσεις για το πάχος των δερματοπτυχών του τρικέφαλου και της γάμπας προσδιορίσαμε το ποσοστό λίπους του κάθε ατόμου με στόχο να έχουμε ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των τιμών του λίπους που μετριέται από τον αναλυτή βιοηλεκτρικής εμπέδησης και του δερματοπτυχομέτρου.

Οι υπολογισμοί μας όσον αφορά το ποσοστό λίπους που προκύπτει μέσω μετρήσεων στις δερματοπτυχές στηρίχθηκαν στην εξίσωση των Slaughter και Lohman (97) σύμφωνα με την οποία το ποσοστό λίπους δίνεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

**Για τα αγόρια:**

$$\%BF = 0.735 \cdot (triceps + calf) + 1 \quad (6.1)$$

**Ενώ για τα κορίτσια:**

$$\%BF = 0.610 \cdot (triceps + calf) + 5.1 \quad (6.2)$$

όπου triceps, calf το πάχος δερματοπτυχή του τρικέφαλου και της γάμπας αντίστοιχα σε mm.

Μετά την ανάλυση των δεδομένων και του υπολογισμού του ποσοστού λίπους σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις προέκυψαν για τους ενήλικες και τα παιδιά οι Πίνακες 19 και 20 αντίστοιχα.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	Νέοι άντρες (n=19)	Νέες γυναίκες (n=9)	Σύνολο (n=28)
	<b>Μέσος όρος ± T.A</b>	<b>Μέσος όρος ± T.A</b>	<b>Μέσος όρος ± T.A</b>
Δερμ/χή γάμπας (mm)	12.16 ± 3.70	18.82 ± 4.01	14.30 ± 4.89
Δερμ/χή τρικέφαλου (mm)	11.15 ± 4.68	17.78 ± 6.50	13.28 ± 6.09
%BF (δερμ/μετρο)	18.29 ± 5.89	27.43 ± 5.90	21.23 ± 7.23
%BF (BIA)	15.53 ± 5.83	24.32 ± 6.29	18.36 ± 7.20

Πίνακας 19: Τα ποσοστά λίπους των ενηλίκων όπως αυτά βρέθηκαν από την ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης και από τις δερματοπτυχές

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	Αγόρια (n=15)	Κορίτσια (n=11)	Σύνολο (n=26)
	<b>Μέσος όρος ± T.A</b>	<b>Μέσος όρος ± T.A</b>	<b>Μέσος όρος ± T.A</b>
Δερμ/χή γάμπας (mm)	15.40 ± 3.09	18.90 ± 2.82	16.88 ± 3.41
Δερμ/χή τρικέφαλου (mm)	16.70 ± 4.61	22.50 ± 4.85	19.15 ± 5.46
%BF (δερμ/μετρο)	24.59 ± 4.57	30.35 ± 3.56	27.03 ± 5.02
%BF (BIA)	20.58 ± 8.05	24.44 ± 4.41	22.21 ± 6.92

Πίνακας 20: Τα ποσοστά λίπους των παιδιών όπως αυτά βρέθηκαν από την ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης και από τις δερματοπτυχές

Από τους Πίνακες 19 και 20 παρατηρούμε πως υπάρχει διαφορά στον προσδιορισμό του ποσοστού λίπους ως προς τη μέθοδο που χρησιμοποιείται. Οι διαφορές είναι στατιστικά σημαντικές και για τις δύο ομάδες εθελοντών (για τους ενήλικους p-value < 0.001 ενώ για τους ανήλικους εθελοντές ηλικίας 6 έως 16 ετών p-value = 0.001). Και στις δυο ηλικιακές ομάδες, η χρήση του δερματοπτυχομέτρου υπερεκτιμά το ποσοστό λίπους συγκριτικά με τη μέθοδο BIA.

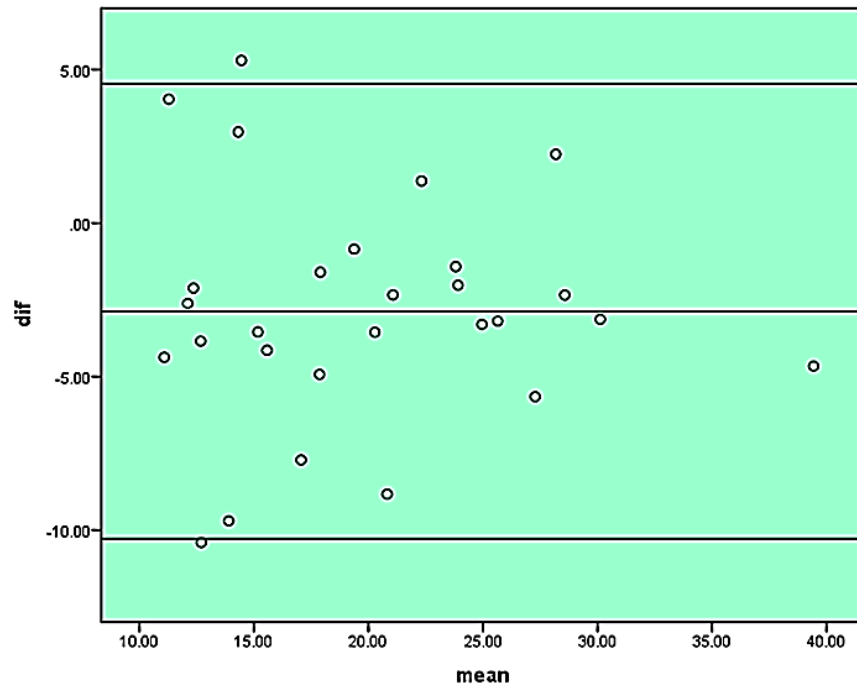
Επίσης για την σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα Bland-Altman (99). Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν μια γραφική μέθοδο σύγκρισης ποσοτικών μετρήσεων που προέκυψαν από δυο διαφορετικές τεχνικές μέτρησης έχοντας ως στόχο την αξιολόγηση της συμφωνίας μεταξύ τους.

Στο προκύπτον γράφημα ο άξονας Y δείχνει τη διαφορά μεταξύ των δύο μετρήσεων (A-B) και ο άξονας X αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο αυτών  $\frac{(A+B)}{2}$ , δηλαδή η διαφορά των δύο μετρήσεων απεικονίζεται γραφικά σε σχέση με το μέσο όρο των δύο μετρήσεων. Στα διαγράμματα επίσης

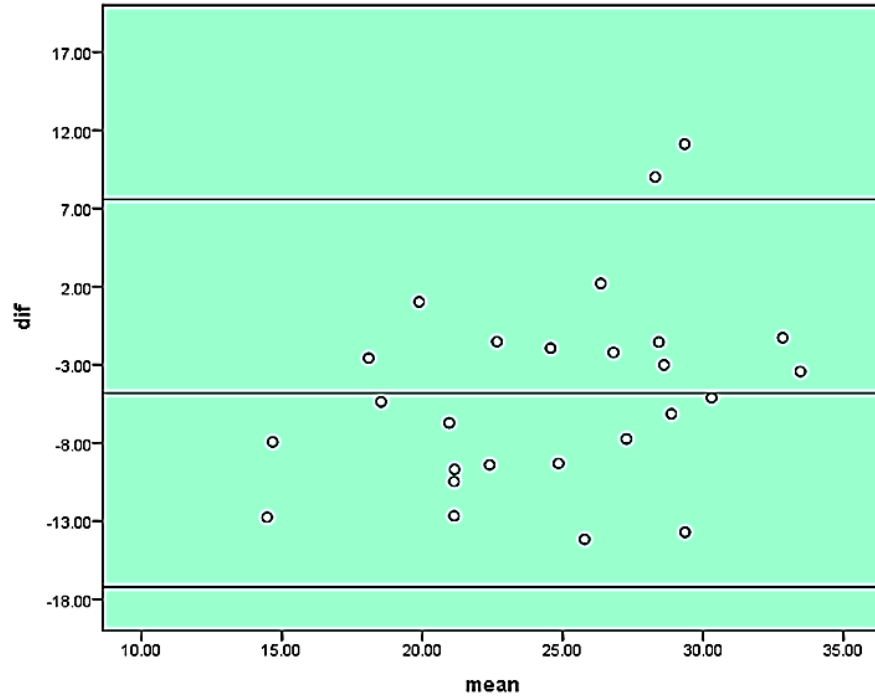


σχεδιάζονται τρεις οριζόντιες γραμμές, η μία στην μέση τιμή των διαφορών και οι άλλες δύο ορίζουν τα όρια συμφωνίας. Για να εκτιμήσουμε κατά πόσο υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων πρέπει να παρατηρήσουμε αν στο διάστημα μέση τιμή  $\pm 1.96 \cdot S_D$  βρίσκεται περίπου το 95% των αποτελεσμάτων των δειγμάτων και για τις δυο μεθόδους. Όσον αφορά την ταύτιση των μεθόδων παρατηρούμε την απόκλιση της μέσης τιμής από τη τιμή 0. Αν η μέση τιμή ισούται με μηδέν τότε οι δύο μέθοδοι ταυτίζονται, σε αντίθετη περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ταύτιση μεταξύ των μεθόδων μέτρησης.

Στην παρούσα εργασία, για την εύρεση των ορίων συμφωνίας μεταξύ των οργάνων μέτρησης ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία: Πρώτα υπολογίστηκαν οι διαφορές ανάμεσα στις δύο μετρήσεις για το ποσοστό λίπους, μετά η μέση τιμή των διαφορών και η τυπική απόκλισή τους. Τα όρια της συμφωνίας είναι το διάστημα μέση τιμή  $\pm 1.96 \cdot S_D$  που είναι ένα 95% διάστημα εμπιστοσύνης των παρατηρούμενων διαφορών (Εικόνες 6.13 και 6.14).



Εικόνα 6.13: Το διάγραμμα Bland-Altman για τους ενήλικες για την διαφορά του ποσοστού λίπους μεταξύ της ΒΙΑ και των δερματοπτυχών



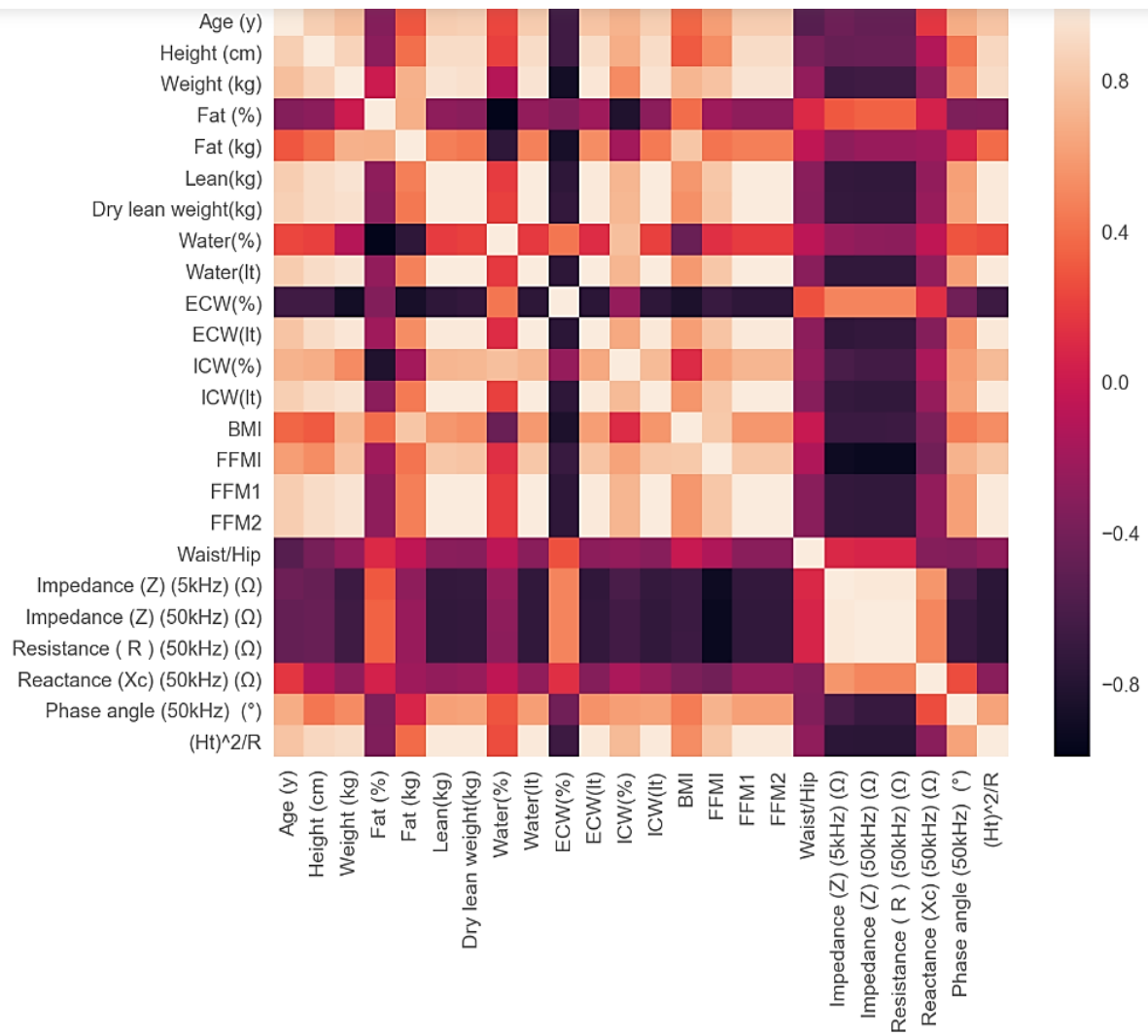
Εικόνα 6.14: Το διάγραμμα Bland- Altman για τα παιδιά για την διαφορά του ποσοστού λίπους μεταξύ της ΒΙΑ και των δερματοπτυχών

## Κεφάλαιο 7: Προσδιορισμός εξίσωσης για τον υπολογισμό της άλιπης μάζας σώματος (FFM)

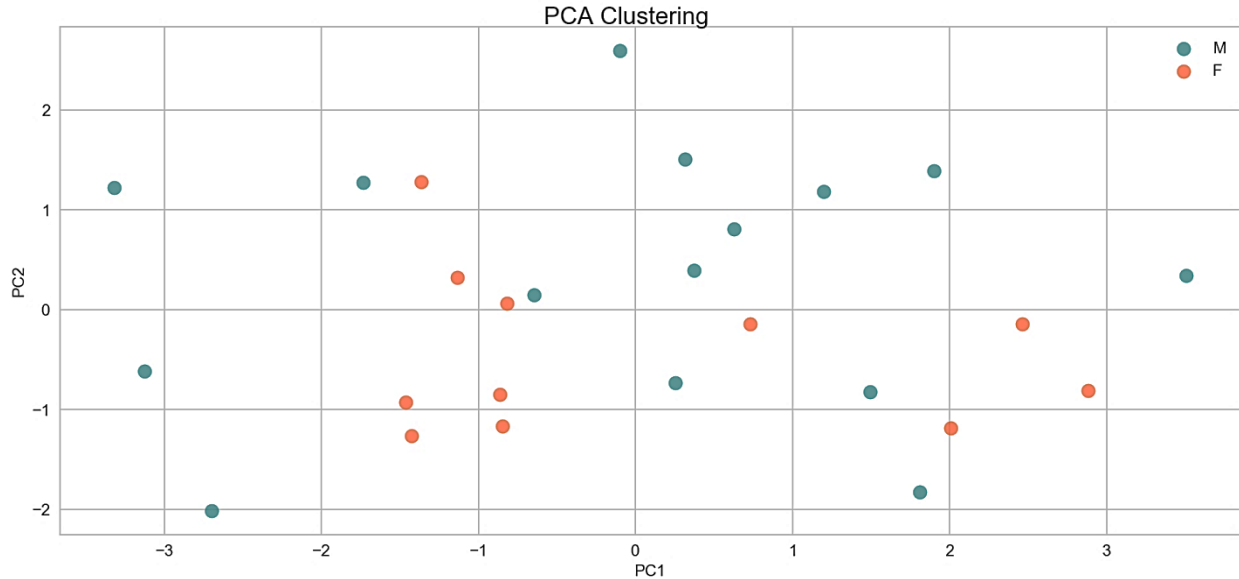
### 7.1 Επίλυση του προβλήματος της πολυσυγγραμμικότητας

Μετά την διερεύνηση του υπάρχοντος πρωτοκόλλου για την ανάλυση της σύστασης σώματος μέσω της βιοηλεκτρικής εμπέδησης επόμενος στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η εύρεση εξισώσεων για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος τόσο στους ενήλικες όσο και στα παιδιά. Δεδομένου ότι ο αριθμός των ανεξαρτήτων μεταβλητών για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας βάσει της βιβλιογραφίας είναι μεγαλύτερος του ενός επιλέχθηκε η πολλαπλή παλινδρόμηση για τον σκοπό αυτό. Η μέθοδος ανάλυσης της πολλαπλής παλινδρόμησης επιτυγχάνεται καλύτερα όταν οι μεταβλητές που αποτελούν το μοντέλο είναι μεταξύ τους ασυσχέτιστες. Όταν υφίσταται έντονες συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών είναι δύσκολο να αξιολογηθεί η ουσιαστική προσφορά μιας συγκεκριμένης ανεξάρτητης μεταβλητής επί της εξαρτημένης. Η κατάσταση η οποία δημιουργείται όταν υπάρχουν ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών στην πολλαπλή παλινδρόμηση ονομάζεται πολυσυγγραμμικότητα. Ως εκ τούτου, κατασκευάστηκε ο πίνακας των συντελεστών συσχετίσεων (Correlation Matrix) των μεταβλητών που επιλέχθηκαν ώστε να εκτιμηθεί ο βαθμός των μεταξύ τους συσχετίσεων ώστε στο μοντέλο να εισαχθούν μόνο οι μεταβλητές εκείνες που συνεισφέρουν σημαντικά στην πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή της άλιπης μάζας σώματος.

Έγινε χρήση δύο εναλλακτικών τεχνικών, ανάλυση κύριων συνιστωσών (principal component analysis, PCA) και παλινδρόμηση κορυφογραμμής (Ridge regression). Η ανάλυση των κύριων συνιστωσών είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για τον εντοπισμό της πολυσυγγραμμικότητας και συμβάλλει στον καθορισμό εκείνων των γραμμικών συνδυασμών των συντελεστών παλινδρόμησης που μπορούν να εκτιμηθούν με ακρίβεια. Πρακτικά, αυτό που επιτυγχάνεται είναι η προβολή του πολυδιάστατου χώρου των δεδομένων σε ένα χώρο λιγότερων διαστάσεων διατηρώντας το μέγιστο δυνατό όγκο της πληροφορίας που υπήρχε στα αρχικά δεδομένα. Το αποτέλεσμα είναι μια γραφική αναπαράσταση της σχέσης μεταξύ αντικειμένων ή δειγμάτων σε μια δισδιάστατη ή τρισδιάστατη απεικόνιση και ταυτόχρονα η ομοιότητα μεταξύ τους, καθώς τα πιο όμοια εμφανίζονται πιο «κοντά» το ένα με το άλλο. Στην εικόνα 7.2 παρουσιάζεται το γράφημα το οποίο προέκυψε μέσω της τεχνικής PCA στόχος του οποίου ήταν να μελετηθεί αν μπορεί να γίνει διαχωρισμός ως προς το φύλο των ανήλικων εθελοντών που συμμετείχαν στην έρευνα.



Εικόνα 7.1: Οι συντελεστές συσχέτισης των μεταβλητών



Εικόνα 7.2: Το γράφημα που προέκυψε με την μεθοδολογία ανάλυσης κύριων συνιστωσών στα ανήλικα άτομα που μελετήθηκαν, όπου M τα άρρενα και F τα θήλεα

Από το γράφημα (PCA score plot) παρατηρούμε πως δεν μπορεί να γίνει διάκριση μεταξύ των αγοριών και των κοριτσιών καθώς δεν ακολουθείται συγκεκριμένο μοτίβο για κανένα από τα δύο φύλα, για τον λόγο αυτό η επίδραση του φύλου δεν εμπεριέχεται στην Εικόνα 7.1.

Η μέθοδος της παλινδρόμησης της κορυφογραμμής (Ridge regression) χρησιμοποιήθηκε για την αντιμετώπιση της πολυσυγγραμμικότητας. Όταν τα δεδομένα μας χαρακτηρίζονται από πολυσυγγραμμικότητα, η κλασική μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων αποτυγχάνει να εκτιμήσει σε ικανοποιητικό βαθμό τους συντελεστές παλινδρόμησης των μεταβλητών μας, με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις να μην είναι αξιόπιστες. Παρουσιάζεται ο «μηχανισμός» της παλινδρόμησης κορυφογραμμής (100), ξεκινώντας από την εξίσωση παλινδρόμησης του γενικού γραμμικού μοντέλου με  $k$ -επεξηγηματικές μεταβλητές:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (7.1)$$

Η εκτιμήτρια κορυφογραμμής (ridge estimator)  $\hat{\beta}_{ridge} = (\hat{\beta}_{ridge1}, \dots, \hat{\beta}_{ridgek})$  είναι η εξής:

$$\hat{\beta}_{ridge} = (X'X + \lambda I)^{-1} X'y \quad (7.2)$$

Ο αριθμός  $\lambda \geq 0$  είναι μία σταθερά, η οποία επιλέγεται κάθε φορά και ονομάζεται παράμετρος μεροληψίας (biasing parameter). Όταν  $\lambda=0$  η εκτιμήτρια ταυτίζεται με αυτήν των ελαχίστων τετραγώνων. Η εκτιμήτρια  $\hat{\beta}_{ridge}$ , επειδή είναι μεροληπτική εκτιμήτρια του  $\hat{\beta}$ , δηλ.  $E(\hat{\beta}_{ridge}) = E(z_k \beta) = z_k \beta$ , αποδεικνύεται εύκολα ότι είναι ένας γραμμικός συνδυασμός της εκτιμήτριας των ελαχίστων τετραγώνων, αφού:

$$\widehat{\beta}_{ridge} = (X'X + \lambda I)^{-1}X'y = (X'X + \lambda I)^{-1}(X'X)\beta = z_k\beta \quad (7.3)$$

με πίνακα διασποράς:

$$Var(\widehat{\beta}_{ridge}) = \sigma^2(X'X + \lambda I)^{-1}X'X(X'X + \lambda I)^{-1} \quad (7.4)$$

και μέσο τετραγωνικό σφάλμα:

$$\begin{aligned} MSE(\widehat{\beta}_{ridge}) &= Var(\widehat{\beta}_{ridge}) + [bias(\widehat{\beta}_{ridge})]^2 \\ &= \sigma^2 Tr[(X'X + \lambda I)^{-1}X'X(X'X + \lambda I)^{-1}] + \lambda^2 \beta'(X'X + \lambda I)^{-1} \beta \\ &= \sigma^2 \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_j}{(\lambda_j + \mu)^2} + \lambda^2 \beta'(X'X + \lambda I)^{-2} \beta \quad (7.5) \end{aligned}$$

Με  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$  οι ιδιοτιμές του πίνακα  $X'X$ . Σύμφωνα με την παραπάνω ισότητα, αύξηση του  $\mu$  προκαλεί αύξηση του δευτέρου όρου της μεροληψίας, ενώ η ταυτόχρονη αύξηση του  $\lambda$  προκαλεί μείωση του πρώτου όρου, δηλ. της διασποράς.

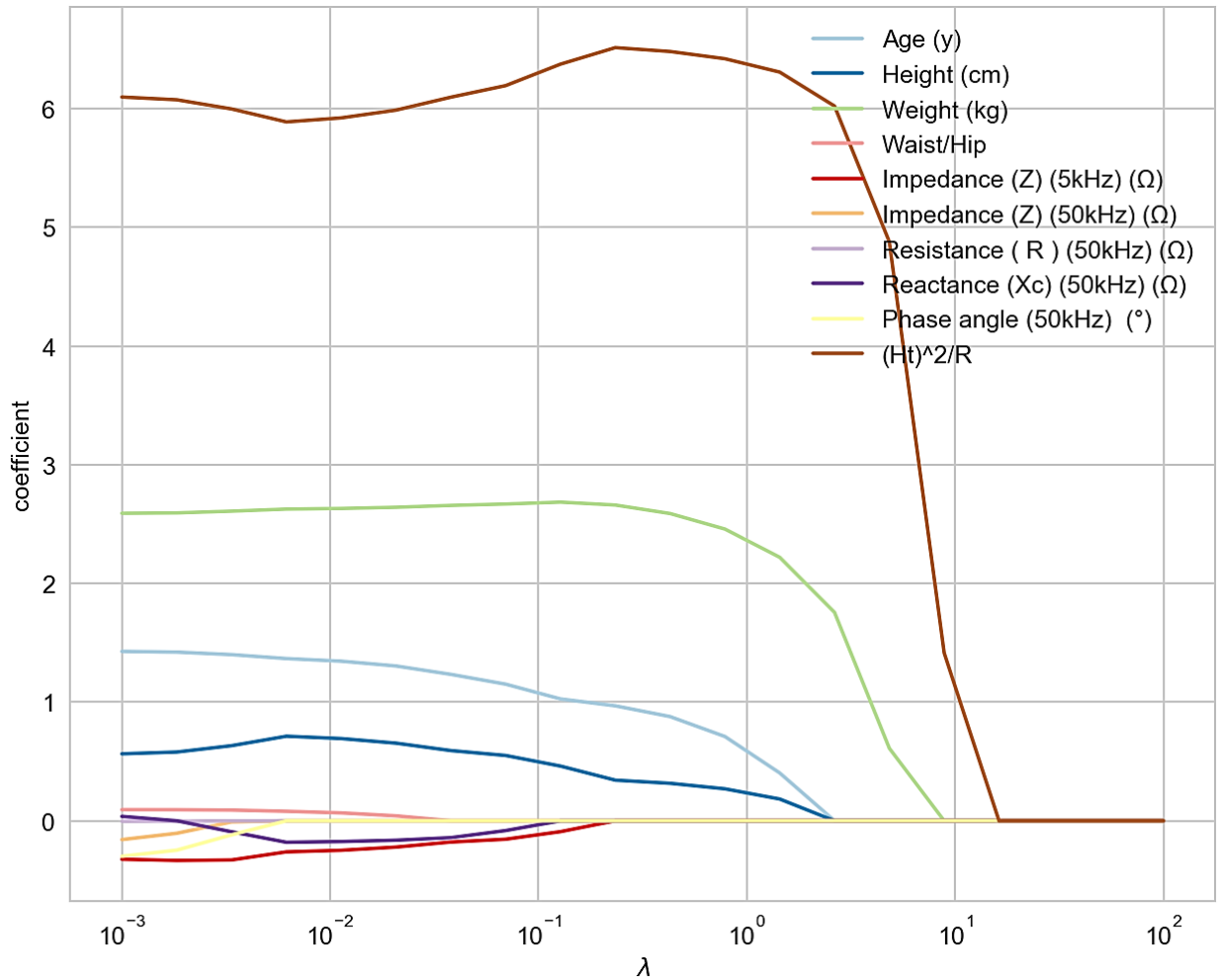
Σκοπός της μεθόδου της κορυφογραμμής είναι η επιλογή ενός τέτοιου  $\lambda$  ώστε η μείωση στον όρο της διασποράς να είναι μεγαλύτερη από την αύξηση στον όρο που εκφράζει τη μεροληψία. Αυτό επιτυγχάνεται αν για μία μη μηδενική τιμή για το  $\lambda$  ισχύει ότι:

$$MSE(\widehat{\beta}_{ridge}) < Var(\widehat{\beta}) \quad (7.6)$$

Αυτό αποδεικνύεται με την προϋπόθεση ότι το  $\beta'\beta$  είναι φραγμένο. Επίσης από το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων βλέπουμε ότι αύξηση του  $\lambda$  επιφέρει και αύξηση του τυπικού σφάλματος εκτίμησης (SSE):

$$SSE = (y - X\widehat{\beta}_{ridge})'(y - X\widehat{\beta}_{ridge}) = (y - X\beta)'(y - X\beta) + (\widehat{\beta}_{ridge} - \widehat{\beta})'X'X(\widehat{\beta}_{ridge} - \widehat{\beta}) \quad (7.7)$$

Τώρα, λόγω του ότι το SST(ολικό άθροισμα τετραγώνων) ξέρουμε ότι παραμένει σταθερό, το άθροισμα των τετραγώνων λόγω παλινδρόμησης θα μειώνεται. Συνεπώς, όσο το  $\lambda$  αυξάνει τόσο θα μειώνεται ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ . Αυτό δείχνει ότι με την εκτιμήτρια κορυφογραμμής μπορεί να μην πάρουμε την καλύτερη προσαρμογή για τα δεδομένα μας, αλλά θα πάρουμε σίγουρα ένα καλό σύνολο για τις εκτιμήσεις μας και τα αποτελέσματα που θα καταλήξουμε θα είναι αρκετά έγκυρα.



Εικόνα 7.3: Το γράφημα που προέκυψε από την μέθοδο της ανάλυσης κορυφογραμμής. Από την Εικόνα 7.3 προκύπτει ότι οι παράγοντες που διαδραματίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος είναι ο δείκτης αντίστασης  $\frac{Ht^2}{R}$ , το βάρος, η ηλικία και από τις αντιστάσεις η χωρητική αντίσταση πυκνωτή  $X_c$ . Στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε δεν συμπεριλήφθηκε το φύλο ως μεταβλητή, λόγω του μη ικανοποιητικού αριθμού δείγματος του πειράματος.

## 7.2 Εξαγωγή εξισώσεων για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος σε παιδιά και ενήλικες

Έχοντας λοιπόν ολοκληρώσει τη διαδικασία που περιγράφηκε στην Ενότητα και γνωρίζοντας ποιες από τις ανεξάρτητες μεταβλητές διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο στον προσδιορισμό της ποσότητας του σωματικού λίπους βρέθηκαν οι σχετικές εξισώσεις.

### A) Εξίσωση για ενήλικα άτομα

Ο συγκεντρωτικός πίνακας για τους ενήλικες που περιέχει τις μεταβλητές εκείνες που είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος καθώς επίσης τον μέσο όρο και την τυπική απόκλιση παρουσιάζεται παρακάτω.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	Μέσος Όρος ± T.A
LEAN(kg)	62.21 ± 12.54
ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	26.82 ± 8.70
ΒΑΡΟΣ(kg)	76.59 ± 16.47
(Χc) (Ω)	59.67 ± 6.44
(Ht) <sup>2</sup> /R (cm <sup>2</sup> /Ω)	64.68 ± 14.01

Πίνακας 21: Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων για τους ενήλικες

Έχοντας λοιπόν τα αναλυτικά δεδομένα για τις επιθυμητές μεταβλητές, προβήκαμε στην εξαγωγή της εξίσωσης που μας προσδιορίζει το FFM μέσω του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης στο SPSS. Αρχικά χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο Enter και στην συνέχεια την μέθοδο Backward. Στον Πίνακα 22 δίνονται συντελεστές οι οποίοι προέκυψαν από την μέθοδο Enter.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-3.767	4.438		-.849	.405	-12.947	5.412		
	ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	-.092	.036	-.064	-2.56	.018	-.167	-.018	.761	1.313
	ΒΑΡΟΣ(kg)	.305	.027	.401	11.33	.000	.249	.361	.382	2.617
	(Ht) <sup>2</sup> /R (cm <sup>2</sup> /Ω)	.631	.033	.705	19.14	.000	.563	.700	.352	2.842
	(Χc) (Ω)	.071	.053	.037	1.333	.196	-.039	.182	.633	1.580

a. Dependent Variable: Lean(kg)

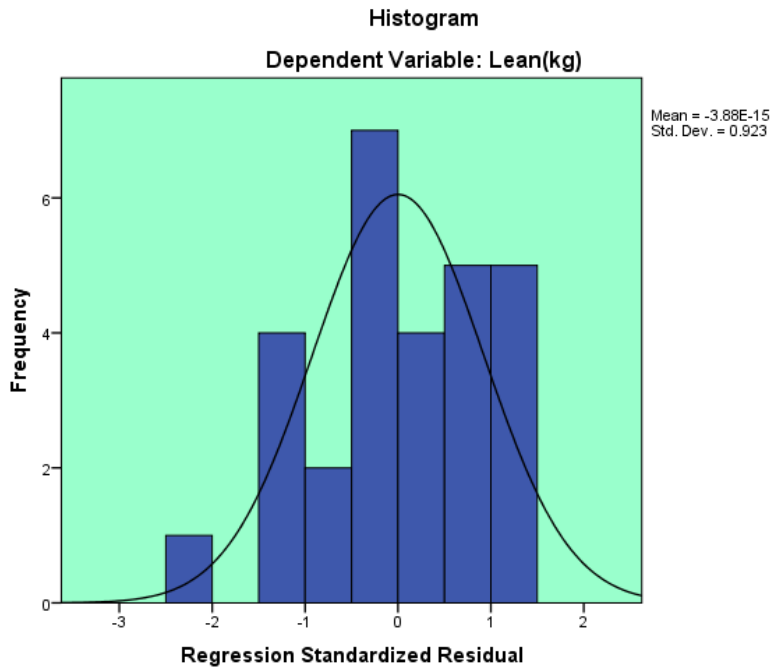
Πίνακας 22: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Enter για τους ενήλικες



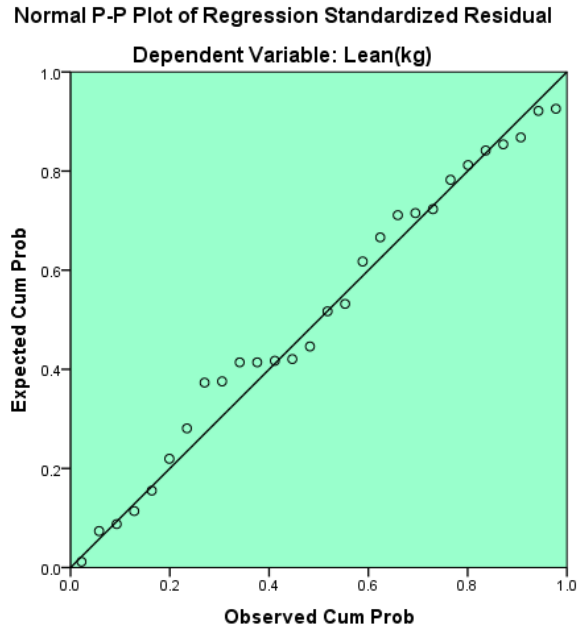
Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 22 η εξίσωση που προκύπτει από το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης για τους ενήλικες είναι η:

$$FFM = -3.767 - 0.092 \cdot \etaλικία + 0.305 \cdot \betaάρος + 0.631 \cdot \frac{Ht^2}{R} + 0.071 \cdot X_c \quad (7.8)$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού βάσει αυτού του μοντέλου βρέθηκε να είναι  $R^2=0.989$ . Το ιστόγραμμα συχνοτήτων και το P-P γράφημα που προέκυψαν από αυτήν την μέθοδο παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 7.4: Το ιστόγραμμα συχνοτήτων της εξαρτημένης μεταβλητής όπως προέκυψε από την μέθοδο Enter



Εικόνα 7.5: Το διάγραμμα P-P της παλινδρόμησης της προέκυψε μέσω της μεθόδου Enter

Σύμφωνα με τον Πίνακα 22 η p-value της χωρητικής αντίστασης πυκνωτή  $X_c$  ισούται με 0.196. Παρατηρούμε πως η μεταβλητή αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική, ως εκ τούτου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Backward, όπως και στην περίπτωση των παιδιών.

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-3.767	4.438		-.849	.405	-12.947	5.412		
	ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	-.092	.036	-.064	-2.56	.018	-.167	-.018	.761	1.313
	ΒΑΡΟΣ(kg)	.305	.027	.401	11.33	.000	.249	.361	.382	2.617
	$X_c$ (Ω)	.071	.053	.037	1.333	.196	-.039	.182	.633	1.580
	$(H)^2/R$ (cm <sup>2</sup> /Ω)	.631	.033	.705	19.14	.000	.563	.700	.352	2.842
2	(Constant)	1.848	1.415		1.306	.204	-1.073	4.768		
	ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	-.093	.037	-.065	-2.54	.018	-.169	-.017	.762	1.313
	ΒΑΡΟΣ(kg)	.300	.027	.393	11.09	.000	.244	.355	.392	2.553
	$(H)^2/R$ (cm <sup>2</sup> /Ω)	.617	.032	.690	19.44	.000	.552	.683	.392	2.552

a. Dependent Variable: Lean(kg)

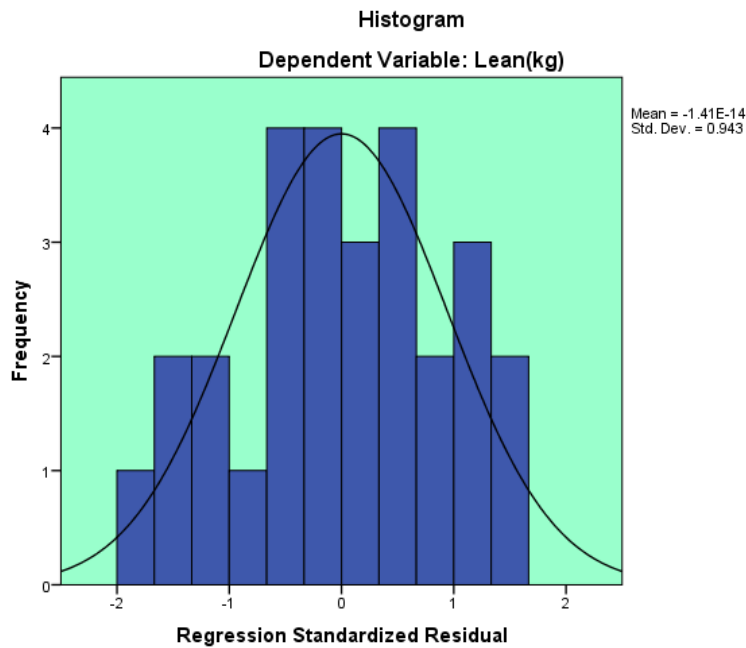
Πίνακας 23: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Backward για τους ενήλικες

Στον πίνακα αυτόν παρατηρούμε ότι στο μοντέλο 1 εισάγονται όλες οι προτεινόμενες μεταβλητές αλλά λόγω του ότι η p-value υποδεικνύει ότι η συνεισφορά της αντίστασης  $X_c$  δεν είναι στατιστικά σημαντική στο μοντέλο 2 δεν συμπεριλαμβάνεται και παίρνουμε την

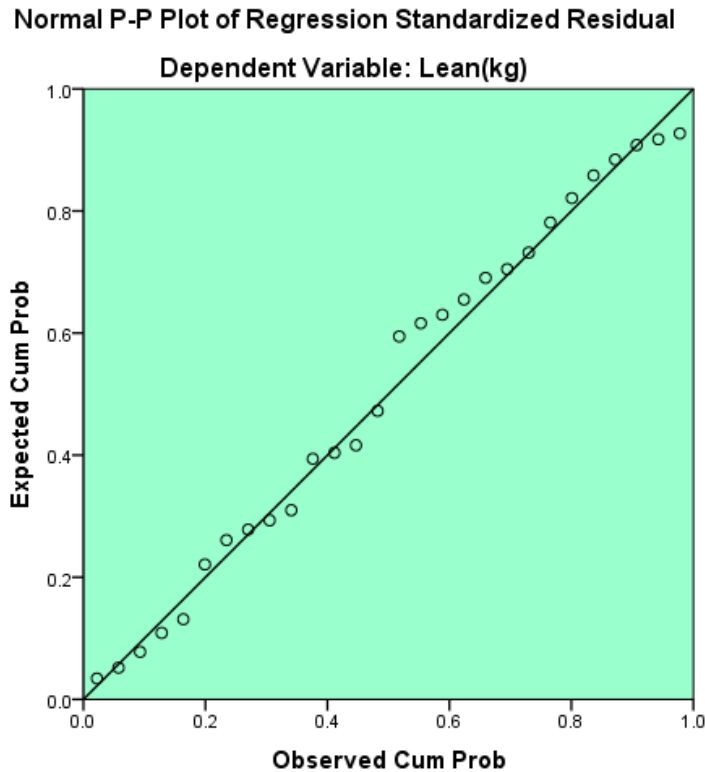
επιθυμητή εξίσωση για την άλιπη μάζα σώματος σύμφωνα με την μέθοδο Backward με χρήση τριών μεταβλητών, ηλικία, μάζα σώματος και  $Ht^2/R$ .

$$FFM = 1.848 - 0.093 \cdot \text{ηλικία} + 0.300 \cdot \text{βάρος} + 0.617 \cdot \frac{Ht^2}{R} \quad (7.9)$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού βάσει αυτού του μοντέλου βρέθηκε να είναι  $R^2=0.988$ . Το ιστόγραμμα συχνοτήτων και το P-P γράφημα δίνονται στις εικόνες 7.6 και 7.7.



Εικόνα 7.6: Το ιστόγραμμα συχνοτήτων της εξαρτημένης μεταβλητής όπως προέκυψε από την μέθοδο Backward



Εικόνα 7.7: Το διάγραμμα P-P της παλινδρόμησης όπως προέκυψε μέσω της μεθόδου Backward

### **B) Εξίσωση για υγιή άτομα ηλικίας 6 έως 16 ετών**

Αρχικά δημιουργήθηκε ένας πίνακας για τους εθελοντές μέσης ηλικίας ( $11.7 \pm 2.5$ ) με τις μεταβλητές εκείνες που είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος, ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	Μέσος Όρος $\pm$ T.A
LEAN(kg)	$36.04 \pm 10.60$
ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	$11.73 \pm 2.51$
ΒΑΡΟΣ(kg)	$46.33 \pm 13.22$
(Xc) ( $\Omega$ )	$61.13 \pm 6.18$
(Ht) <sup>2</sup> /R ( $\text{cm}^2/\Omega$ )	$39.16 \pm 11.49$

Πίνακας 24: Ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων για τα παιδιά

Έχοντας λοιπόν τα αναλυτικά δεδομένα για τις επιθυμητές μεταβλητές, βρέθηκε με το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης στο SPSS η εξίσωση εκτίμησης της ποσότητας FFM με βάσει τις μετρήσεις εμπέδησης.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Enter η οποία χρησιμοποιεί στο μοντέλο της παλινδρόμησης όλες τις προτεινόμενες από τον αναλυτή μεταβλητές κάτι που προϋποθέτει να αποκλειστούν από τον αναλυτή οι ανεξάρτητες μεταβλητές που συνδέονται ισχυρά μεταξύ τους όπως και έγινε παραπάνω. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Coefficients<sup>a</sup>

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-1.140	1.956		-.583	.567	-5.221	2.941		
	ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	.576	.124	.138	4.640	.000	.317	.834	.182	5.485
	ΒΑΡΟΣ(kg)	.210	.028	.264	7.609	.000	.152	.267	.134	7.479
	(Ht) <sup>2</sup> /R (cm <sup>2</sup> /Ω)	.586	.037	.628	15.997	.000	.510	.663	.104	9.570
	(Xc) (Ω)	-.037	.034	-.020	-1.108	.281	-.107	.033	.519	1.926

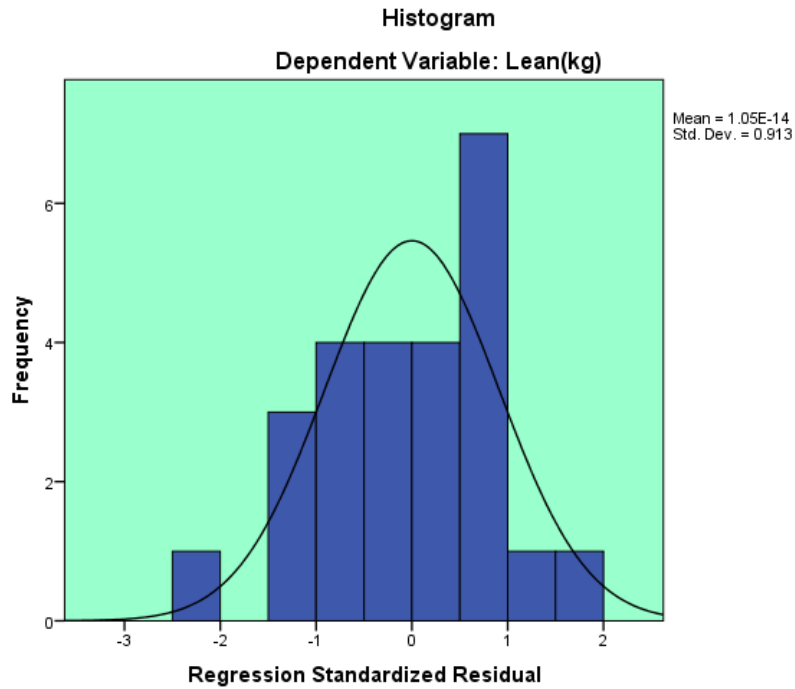
a. Dependent Variable: Lean(kg)

Πίνακας 25: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Enter για τα άτομα ηλικίας 6 έως 16 ετών

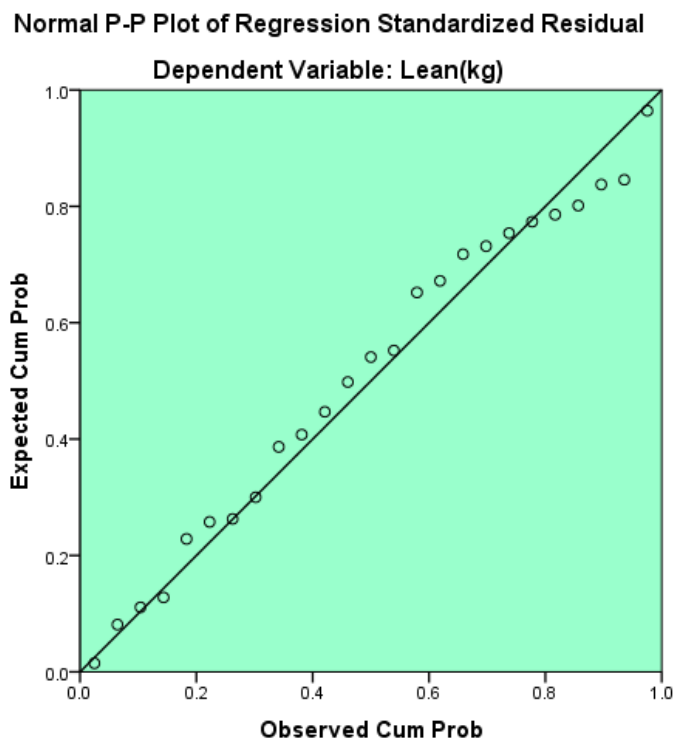
Με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 25 η εξίσωση που προκύπτει από το μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης για τα παιδιά ηλικίας 6 έως 16 ετών είναι η:

$$FFM = -1.140 + 0.576 \cdot \eta\lambda\iota\kappa\iota\alpha + 0.210 \cdot \beta\acute{\alpha}\rho\omicron\varsigma + 0.586 \cdot \frac{Ht^2}{R} - 0.037 \cdot Xc \quad (7.10)$$

Ωστόσο από την p-value της χωρητικής αντίστασης πυκνωτή Xc παρατηρούμε πως η μεταβλητή αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική. Ο συντελεστής προσδιορισμού βάσει αυτού του μοντέλου βρέθηκε να είναι R<sup>2</sup>=0.997. Το ιστόγραμμα συχνοτήτων και το P-P γράφημα που προέκυψαν από αυτήν την μέθοδο παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 7.8: Το ιστόγραμμα συχνοτήτων της εξαρτημένης μεταβλητής όπως προέκυψε από την μέθοδο Enter



Εικόνα 7.9: Το διάγραμμα P-P της παλινδρόμησης όπως προέκυψε μέσω της μεθόδου Enter

Ωστόσο για την επίλυση του προβλήματος της μη στατιστικά σημαντικής αντίστασης Χc χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο Backward στο μοντέλο της πολλαπλής παλινδρόμησης η οποία ακολουθεί την εξής διαδικασία: αρχικά εισάγονται όλες οι μεταβλητές που θέλουμε να συμπεριλάβουμε στο μοντέλο και σε κάθε διαδοχικό βήμα αφαιρείται η μεταβλητή που θεωρείται λιγότερο σημαντική για την εξαρτημένη. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι που να συμμετέχουν στο μοντέλο μόνο οι στατιστικά σημαντικές μεταβλητές, ισχυρά συσχετισμένες με την εξαρτημένη μεταβλητή και ασυσχέτιστες μεταξύ τους (Πίνακας 26).

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B		Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound	Tolerance	VIF
1	(Constant)	-1.140	1.956		-.583	.567	-5.221	2.941		
	ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	.576	.124	.138	4.640	.000	.317	.834	.182	5.485
	ΒΑΡΟΣ(kg)	.210	.028	.264	7.609	.000	.152	.267	.134	7.479
	(Χc) (Ω)	-.037	.034	-.020	-1.108	.281	-.107	.033	.519	1.926
	(Ht) <sup>2</sup> /R (cm <sup>2</sup> /Ω)	.586	.037	.628	15.997	.000	.510	.663	.104	9.570
2	(Constant)	-3.188	.645		-4.942	.000	-4.530	-1.847		
	ΗΛΙΚΙΑ (έτη)	.485	.093	.116	5.184	.000	.290	.679	.324	3.083
	ΒΑΡΟΣ(kg)	.217	.027	.273	8.087	.000	.161	.273	.142	7.027
	(Ht) <sup>2</sup> /R (cm <sup>2</sup> /Ω)	.599	.035	.642	17.145	.000	.527	.672	.116	8.608

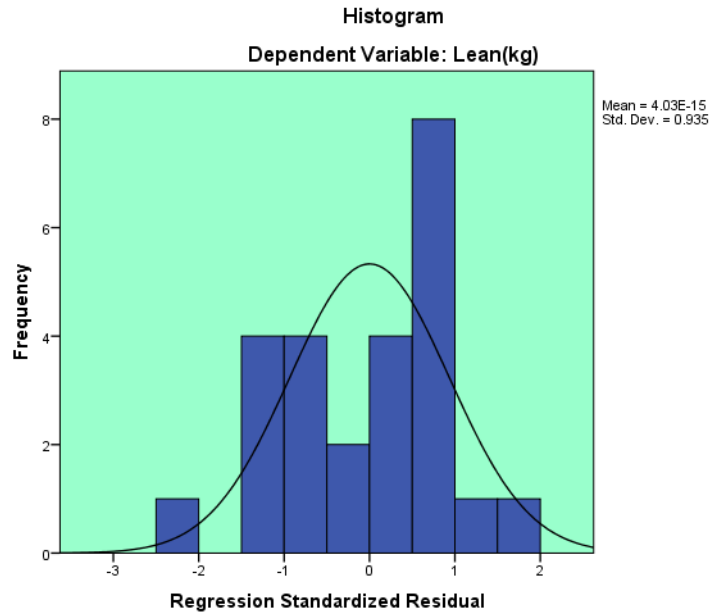
a. Dependent Variable: Lean(kg)

Πίνακας 26: Τα αποτελέσματα της μεθόδου Backward για τα παιδιά ηλικίας 6 έως 16 ετών

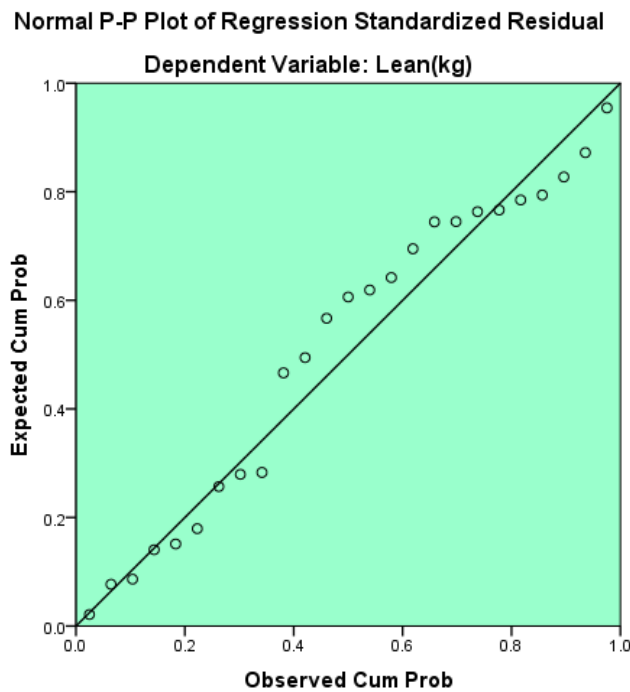
Στον πίνακα αυτόν παρατηρούμε ότι στο μοντέλο 1 εισάγονται όλες οι προτεινόμενες μεταβλητές αλλά λόγω του ότι η p-value υποδεικνύει ότι η συνεισφορά της αντίστασης Χc δεν είναι στατιστικά σημαντική στο μοντέλο 2 δεν συμπεριλαμβάνεται η Χc, οπότε στην εξίσωση έγινε χρήση τριών μεταβλητών, ηλικία, μάζα σώματος και Ht<sup>2</sup>/R:

$$FFM = -3.188 + 0.485 \cdot \text{ηλικία} + 0.217 \cdot \text{βάρος} + 0.599 \cdot \frac{Ht^2}{R} \quad (7.11)$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού βάσει αυτού του μοντέλου παρέμεινε R<sup>2</sup>=0.997. Το ιστόγραμμα συχνοτήτων και το P-P γράφημα που προέκυψαν από αυτήν την μέθοδο παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 7.10: Το ιστόγραμμα συχνοτήτων της εξαρτημένης μεταβλητής όπως προέκυψε από την μέθοδο Backward



Εικόνα 7.11: Το διάγραμμα P-P της παλινδρόμησης όπως προέκυψε μέσω της μεθόδου Backward



## Κεφάλαιο 8: Συμπεράσματα

### 8.1 Διερεύνηση πρωτοκόλλου για την σύσταση του ανθρώπινου σώματος

Με το πέρας της παρούσας εργασίας οδηγηθήκαμε σε μια πληθώρα συμπερασμάτων. Αρχικά όσον αφορά την διερεύνηση του πρωτοκόλλου για την ανάλυση της σύστασης του σώματος παρατηρήθηκε πως η αλλαγή στην στάση του σώματος, στη κατάσταση του δέρματος αλλά και στην ενυδάτωση του οργανισμού επιφέρει στατιστικά σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των επιμέρους μετρήσεων.

A. Στάση σώματος: Έχοντας ως κατάσταση αναφοράς το άτομο να βρίσκεται ξαπλωμένο ανάσκελα, να έχει ανοιχτά τα χέρια και τα πόδια του με τέτοιον τρόπο ώστε να σχηματίζεται μεταξύ του κάθε χεριού και του κορμού γωνία περίπου  $30^\circ$  και μεταξύ των ποδιών  $45^\circ$ , το δέρμα του να είναι στεγνό και το άτομο να απέχει από οποιαδήποτε τροφή ή νερό για τουλάχιστον τρεις ώρες μελετήσαμε αρχικά την επίδραση που επιφέρει η αλλαγή της στάσης του σώματος από καθιστή σε οριζόντια. Συμπεράναμε πως οι διαφορές μεταξύ της ποσότητας του σωματικού λίπους, της άλιπης μάζας, της ποσότητας νερού αλλά και των αντιστάσεων R, Z και  $X_c$  για αλλαγή στην στάση του σώματος σε οριζόντια από καθιστή είναι στατιστικά σημαντικές και μάλιστα βρέθηκε  $p < 0.001$  για όλες τις ποσότητες. Για παράδειγμα, βρέθηκε σε καθιστή στάση μέση μείωση της μετρούμενης μάζας του λίπους  $\sim 0.9\text{kg}$ .

Ερευνήθηκε η επίδραση του κλεισίματος του δεξιού χεριού με τέτοιον τρόπο ώστε ο πήχης και το μπράτσο του ατόμου να έρχονται σε επαφή. Σημειώνεται ότι πάνω στο δεξί χέρι βρίσκονταν τα ηλεκτρόδια από τα οποία γίνονταν η διέλευση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Παρατηρήθηκε πως οι τιμές της ποσότητας λίπους του σώματος, της άλιπης μάζας, της ποσότητας νερού και των αντιστάσεων Z και R παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάλογα με τη θέση του χεριού. Γεγονός αναμενόμενο λόγω του ότι με την αλλαγή στην θέση του χεριού μικραίνει η απόσταση που διανύει το ηλεκτρικό ρεύμα που οφείλεται στη δημιουργία βρόχου με  $p < 0.001$ . Για παράδειγμα, βρέθηκε ότι στην περίπτωση μυϊκής συστολής μέση μείωση στην μάζα του λίπους κατά  $\sim 1.4\text{kg}$ . Αντίθετα, την τιμή της χωρητικής αντίστασης πυκνωτή  $X_c$  δεν βρέθηκε ένδειξη στατιστικά σημαντικής μεταβολής ( $p < 0.92$ ).

B. Κατάσταση δέρματος: Μετρήσεις έγιναν και με παρουσία φυσικού νερού πάνω στο δέρμα του εξεταζόμενου ακριβώς κάτω από την επιφάνεια των ηλεκτροδίων ενώ βρίσκεται σε οριζόντια στάση. Βρέθηκε ότι όλες οι μεταβλητές που ελέγχθηκαν δηλαδή το λίπους του

σώματος, η άλιπη μάζα, η ποσότητα νερού και οι αντιστάσεις Z, R και Xc παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε σύγκριση με εκείνες τις τιμές που προέκυψαν από την μέτρηση των ατόμων χωρίς την παρουσία του νερού πάνω στο δέρμα τους με  $p < 0.001$ . Η παρεμβολή φυσιολογικού ορού αντί για το φυσικού νερού είχε επίσης επίδραση στις μετρήσεις. Για παράδειγμα, η παρεμβολή υγρών αύξησε κατά μέσο όρο την μετρούμενη τιμή λίπους κατά  $\sim 0.3$  kg και στις δυο περιπτώσεις. Επίσης, με παρεμβολή μη λιπαρής κρέμας ανάμεσα στο δέρμα των ατόμων και τα επιθέματα με τα ηλεκτρόδια βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις ποσότητες που μελετήθηκαν με  $p < 0.001$ . Για παράδειγμα, η παρεμβολή της κρέμας αύξησε κατά μέσο όρο την μετρούμενη τιμή λίπους κατά  $\sim 0.5$  kg. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό κατά τις μετρήσεις η υγρασία του δέρματος να είναι η συνηθισμένη και να μην παρεμβάλλεται κάποιο υλικό ανάμεσα στο δέρμα και ηλεκτρόδια. Και στις τρεις περιπτώσεις παρεμβολών που μελετήθηκαν βρέθηκαν αυξημένες τιμές λίπους και μειωμένες, όπως ήταν αναμενόμενο, τιμές του μη λίπους

Γ. Πόση νερού πριν από τη μέτρηση: Μελετήθηκε η επίδραση πόσης 0.5 λίτρου νερού από ενήλικα λίγο πριν από τη μέτρηση καθώς βάσει πρωτοκόλλου απαιτείται νηστεία από οποιαδήποτε τροφή ή νερό για τουλάχιστον 3 ώρες. Βρέθηκε ότι η πόση 0.5 λίτρου νερού λίγο πριν από τη μέτρηση επηρέασε στατιστικά σημαντικά το σύνολο των μετρούμενων ποσοτήτων με  $p < 0.001$  σε όλες τις μετρήσεις. Στην συνολική ποσότητα νερού του σώματος παρατηρήθηκε μέση αύξηση  $\sim 0.7$  λίτρα έναντι της αναμενόμενης 0.5 λίτρα, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στο ότι μετά την πόση του νερού δεν δόθηκε η δυνατότητα στους συμμετέχοντες να παραμείνουν ξαπλωμένοι για 5 λεπτά πριν την διεξαγωγή της μέτρησης ώστε να επιτευχθεί η ισορροπία των υγρών του σώματος. Επίσης η διαφορά μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός συσσώρευσης του νερού στις θέσεις επαφής των ηλεκτροδίων BIA μπορεί να επηρεαστεί κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, καθώς η παρουσία των ηλεκτροδίων διακόπτει τη φυσική διαπνοή του δέρματος (101). Για το λίπος βρέθηκε μέση αύξηση κατά  $\sim 0.6$ kg με παρόμοιου όμως μεγέθους μείωση στη μάζα του μη λίπους εύρημα που συνεπάγεται ίδια συνολική μάζα σώματος παρά την πόση 0.5 λίτρου νερού, το γεγονός αυτό αποδίδεται στην πολύ μικρή ποσότητα νερού συγκριτικά με την συνολική μάζα σώματος η οποία είναι  $\sim 77$ kg.

Εν κατακλείδι, σε όλες τις περιπτώσεις, -με εξαίρεση την χωρητική αντίσταση πυκνωτή Xc κατά την συστολή του μυ, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για οποιαδήποτε αλλοίωση μελετήθηκε στην προτεινόμενη από τον κατασκευαστή μεθοδολογία με τιμές p πολύ χαμηλότερες του 0.005 σε όλες τις περιπτώσεις. Σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, ο Demura και οι συνεργάτες του (102) συμπέραναν πως η αλλαγή στην στάση του σώματος από ξαπλωμένη σε καθιστή θέση δεν επέφερε στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά τον προσδιορισμό του ποσοστού σωματικού λίπους.

Με το πέρας της παρούσας μελέτης, η θέση του σώματος που προτείνεται για τον προσδιορισμό της σύστασης του σώματος είναι αυτή που το άτομο ξαπλώνει σε οριζόντια στάση έχοντας τα άκρα του χαλαρά χωρίς να υπάρχει επαφή των άκρων και του κορμού, όπως δηλαδή υποδεικνύεται και από το πρωτόκολλο. Καταλήγουμε σε αυτό συμπέρασμα διότι παρατηρούμε στατιστικά σημαντικές διαφορές όχι μόνο μεταξύ της οριζόντιας και της καθιστής στάσης αλλά και μεταξύ των περιπτώσεων που το άτομο βρίσκεται οριζόντια ξαπλωμένο αλλά στην μία περίπτωση ο δεξής πήχης και το μπράτσο του έρχονται σε επαφή ενώ στην άλλη όχι.

## **8.2 Προσδιορισμός του σωματικού λίπους μέσω της μέτρησης των δερματοπτυχών**

Η μέτρηση των δερματοπτυχών λόγω των ταχύτατων αποτελεσμάτων, της φορητότητας του οργάνου μέτρησης αλλά και της εύκολης χρήσης του από τον χειριστή ο οποίος δεν απαιτείται να έχει συγκεκριμένες γνώσεις πραγματοποιείται κατά κόρον σε γυμναστήρια και αθλητικές ομάδες για τον έλεγχο της ποσότητας σωματικού λίπους των ατόμων. Θέλοντας λοιπόν να ελέγξουμε κατά πόσο το ποσοστό σωματικού λίπους που προκύπτει από τη μέθοδο των δερματοπτυχών συμφωνεί με το ποσοστό σωματικού λίπους που μας δίνει η ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) προβήκαμε στη μέτρηση της δερματοπτυχής του τρικέφαλου μύος του χεριού και του μύος της γάμπας σε όλα τα άτομα που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε τόσο για τα παιδιά όσο και για τους ενήλικες βρέθηκε ότι οι διαφορές στις μέσες τιμές του ποσοστού σωματικού λίπους μεταξύ της μεθόδου των δερματοπτυχών και της BIA παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές καθώς η *p*-value βρέθηκε να είναι 0.001 για τα παιδιά και <0.001 για τους ενήλικες. Τόσο στην περίπτωση των παιδιών όσο και των ενηλίκων φαίνεται ότι η μέθοδος των δερματοπτυχών υπερεκτιμά το ποσοστό σωματικού λίπους ως προς την μέθοδο BIA, γεγονός αναμενόμενο καθώς η μέθοδος των δερματοπτυχών δεν λαμβάνει υπόψη ολόκληρο το σώμα του ατόμου αλλά μόνο συγκεκριμένες ανατομικές περιοχές. Επίσης, η διαφορά στο ποσοστό λίπους μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι εμπειρικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του %BF από τις δερματοπτυχές έχουν προκύψει από μετρήσεις της πυκνότητας σώματος, της ποσότητας νερού και των οστικών αλάτων.

Πιο συγκεκριμένα, για τα παιδιά το ποσοστό σωματικού λίπους (%BF) με την μέθοδο των δερματοπτυχών βρέθηκε να είναι  $27.03 \pm 5.02$  ενώ με την μέθοδο BIA,  $\%BF = 22.21 \pm 6.92$ . Για τους ενήλικες με τη μέθοδο των δερματοπτυχών το ποσοστό λίπους βρέθηκε ίσο με  $21.23 \pm 7.23$  ενώ με την μέθοδο BIA,  $\%BF = 18.36 \pm 7.20$ . Και στις δύο ηλικιακές ομάδες οι δύο

μέθοδοι παρουσιάζουν μια ποσοστιαία διαφορά, στην περίπτωση των παιδιών η διαφορά αυτή είναι της τάξης του 5% ενώ στην περίπτωση των ενηλίκων η ποσοστιαία διαφορά ανέρχεται στο 3%. Και στις δύο περιπτώσεις η μέθοδος των δερματοπτυχών παρουσιάζει μια υπερεκτίμηση του ποσοστού λίπους σε σχέση με την μέθοδο BIA.

Επίσης, από τα διαγράμματα Bland-Altman για την σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων παρατηρούμε ότι έχουμε τις εξής τιμές, μέση τιμή=-4.82 και  $S_D=6.32$  για τα παιδιά και μέση τιμή=-2.87 με  $S_D=3.78$  για τους ενήλικες. Για να εκτιμήσουμε κατά πόσο υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων πρέπει να παρατηρήσουμε αν στο διάστημα (μέση τιμή $\pm 1.96 S_D$ ) βρίσκεται περίπου το 95% των αποτελεσμάτων των δειγμάτων και για τις δυο μεθόδους. Παρατηρώντας τα δύο διάγραμμα Bland-Altman, με την προϋπόθεση αυτή να ισχύει καταλήγουμε στο ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεθόδων. Όσον αφορά την ταύτιση των μεθόδων παρατηρούμε την απόκλιση της μέσης τιμής από τη τιμή 0. Και στις δυο περιπτώσεις η μέση τιμή απέχει από το μηδέν, γεγονός που υποδεικνύει ότι οι δύο μέθοδοι δεν έχουν απόλυτη ταύτιση κατά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Πρακτικά και στις δυο ηλικιακές ομάδες ως καταλληλότερη μέθοδος για τον προσδιορισμό του σωματικού λίπους κρίνεται η μέθοδος BIA, η οποία λαμβάνει υπόψη ολόκληρο το σώμα του συμμετέχοντα και όχι μόνο συγκεκριμένες ανατομικές περιοχές στις οποίες μπορεί να παρατηρείται συσσώρευση λίπους. Αν ωστόσο δεν υπάρχει διαθεσιμότητα του οργάνου ως εναλλακτική μέθοδος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των δερματοπτυχών στην περίπτωση των ενηλίκων όπου παρατηρούμε πως οι δυο μέθοδοι έχουν μικρότερη ποσοστιαία διαφορά σε σχέση με την περίπτωση των παιδιών.

Επίσης έγινε σύγκριση του %BF όπως προέκυψε από τις μετρήσεις BIA της παρούσας μελέτης με τα αποτελέσματα της μελέτης του Καλέφ-Εζρά και των συνεργατών του (103) από τους οποίους χρησιμοποιήθηκε η τεχνική BIS. Στην μελέτη τους συμμετείχαν παιδιά (ηλικίας 6-16 ετών), και ενήλικοι άνδρες και γυναίκες (ηλικίας 18-70 ετών). Σύμφωνα με την μελέτη αυτή τα παιδιά βρέθηκε να έχουν κατά μέσο όρο %BF=20% (SD=7%), οι άνδρες %BF=14% (SD=5%) και οι γυναίκες %BF=31.5% (7%), ενώ σύμφωνα με την μελέτη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας για τα παιδιά %BF=22.2% (SD=6.9%), για τους άνδρες βρέθηκε %BF=15.5% (SD=5.8%) ενώ για τις γυναίκες %BF=24.3% (SD=6.3%). Για τους άνδρες και τα παιδιά η ποσοστιαία διαφορά είναι περίπου 2% ενώ στην περίπτωση των γυναικών η διαφορά είναι της τάξης του 7%. Πιθανή αιτία για την απόκλιση των τιμών στην περίπτωση των γυναικών είναι η ηλικιακή διαφορά των γυναικών μεταξύ των δειγμάτων, καθώς όπως είναι γνωστό με την αύξηση της ηλικίας το ποσοστό σωματικού λίπους αυξάνει.

### 8.3 Εξίσωση προσδιορισμού της άλιπης μάζας σώματος (FFM)

Τελικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η εξαγωγή εξισώσεων για τον προσδιορισμό της άλιπης μάζας σώματος τόσο για τα παιδιά όσο και για τους ενήλικες. Επειδή ο αριθμός των ανεξαρτήτων μεταβλητών ήταν μεγαλύτερος του ενός χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης. Επειδή όμως η μέθοδος αυτή δίνει καλύτερα αποτελέσματα αν οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, (σε αντίθετη περίπτωση δημιουργείται το πρόβλημα της πολυσυγγραμικότητας), κατασκευάσαμε τον πίνακα συντελεστών συσχέτισης για τις ανεξάρτητες μεταβλητές από όπου ήταν εφικτό να παρατηρήσουμε ποιες από τις ανεξάρτητες μεταβλητές εμφανίζουν μεταξύ τους υψηλό βαθμό συσχέτισης.

Έχοντας στην διάθεση μας αυτή την πληροφορία μπορέσαμε να συμπεριλάβουμε στο μοντέλο μόνο τις μεταβλητές εκείνες που συνεισφέρουν σημαντικά στην πρόβλεψη της άλιπης μάζας σώματος. Αντιμετωπίζοντας λοιπόν το πρόβλημα της πολυσυγγραμικότητας με την μέθοδο των κύριων συνιστωσών και την παλινδρόμηση κορυφογραμμής ήμασταν σε θέση να γνωρίζουμε ποιές από τις ανεξάρτητες μεταβλητές ήταν ασυσχέτιστες μεταξύ τους αλλά και ταυτόχρονα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της FFM.

Οι μεταβλητές που τελικά συμπεριλήφθηκαν στην εξίσωση και για τις δύο ηλικιακές ομάδες ήταν η ηλικία, το βάρος, ο δείκτης αντίστασης  $\frac{Ht^2}{R}$  ο οποίος εμπεριέχει επί της ουσίας το ύψος του ατόμου αλλά και την ωμική αντίσταση, και η χωρητική αντίσταση πυκνωτή  $X_c$ . Για τα παιδιά η εξίσωση που προέκυψε από την μέθοδο Enter είναι η εξής:

$$FFM = -1.140 + 0.576 \cdot \text{ηλικία} + 0.210 \cdot \text{βάρος} + 0.586 \cdot \frac{Ht^2}{R} - 0.037 \cdot X_c \quad (7.10)$$

Ενώ για τους ενήλικες:

$$FFM = -3.767 - 0.092 \cdot \text{ηλικία} + 0.305 \cdot \text{βάρος} + 0.631 \cdot \frac{Ht^2}{R} + 0.071 \cdot X_c \quad (7.8)$$

Ωστόσο από την p-value της χωρητικής αντίστασης πυκνωτή  $X_c$  όπως προέκυψε από το στατιστικό πρόγραμμα παρατηρούμε πως η μεταβλητή αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική ούτε για τα παιδιά αλλά ούτε και για τους ενήλικες, για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Backward σύμφωνα με την οποία προέκυψαν οι ακόλουθες εξισώσεις:

Για τα παιδιά:

$$FFM = -3.188 + 0.485 \cdot \text{ηλικία} + 0.217 \cdot \text{βάρος} + 0.599 \cdot \frac{Ht^2}{R} \quad (7.11)$$

Και για τους ενήλικες:

$$FFM = 1.848 - 0.093 \cdot \text{ηλικία} + 0.300 \cdot \text{βάρους} + 0.617 \cdot \frac{Ht^2}{R} \quad (7.9)$$

Κάνοντας σύγκριση την εξίσωση (7.8) που εξάγαμε για τους ενήλικες ηλικίας 18 έως 52 ετών της παρούσας μελέτης με την εξίσωση (5.1) του Kyle και των συνεργατών του που προέκυψε από υγιή ενήλικα άτομα ηλικίας 22 έως 94 ετών παρατηρούμε πως και στις δύο περιπτώσεις, αν εξαιρέσουμε τον παράγοντα του φύλου καθώς δεν είχαμε την δυνατότητα να το συμπεριλάβουμε στην δική μας εξίσωση λόγω της περιορισμένης αριθμητικής διαφοράς μεταξύ αγοριών και κοριτσιών, ο δείκτης αντίστασης κατέχει τον σημαντικότερο ρόλο στον προσδιορισμό της FFM, ενώ ακολουθεί το βάρος του ατόμου. Η μικρότερη συνεισφορά και στις δύο εξισώσεις αποδίδεται στην χωρητική αντίσταση πυκνωτή Xc.

Επιπροσθέτως συγκρίνοντας τις εξισώσεις που έχουμε εξάγει για τα παιδιά και τους ενήλικες παρατηρούμε πως ο παράγοντας της ηλικίας διαδραματίζει μεγαλύτερο ρόλο στον προσδιορισμό της FFM στα παιδιά απ' ότι στους ενήλικες, αντιθέτως το βάρος έχει μεγαλύτερη συνεισφορά στους ενήλικες παρά στα παιδιά.

Στα παιδιά (που είναι η ηλικιακή ομάδα που μας ενδιαφέρει περισσότερο καθώς για τους ενήλικες το μετρητικό όργανο είναι ήδη βαθμονομημένο) υπολογίσαμε ότι  $R^2 = 0.94$ ,  $MAE = 1.42$ ,  $MSE = 2.59$  και  $RMSE = 1.61$  όπου το  $MAE$  (*Mean Absolute Error*) =  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$  είναι ο μέσος όρος της απόλυτης τιμής των σφαλμάτων, το  $MSE$  (*Mean Squared Error*) =  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$  είναι ο μέσος όρος των τετραγωνικών σφαλμάτων και το  $RMSE$  (*Root Mean Squared Error*) =  $\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$  είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου των τετραγώνων σφαλμάτων.

## 8.4 Μελλοντικές προοπτικές

Σε μελλοντική μελέτη θα πρέπει να συγκεντρωθεί μεγαλύτερος αριθμός συμμετεχόντων ώστε να προκύψει καλύτερη στατιστική ακρίβεια και να υπάρξει η δυνατότητα της συμμετοχής του φύλου στις εξισώσεις προσδιορισμού της άλιπης μάζας σώματος. Ωστόσο, η κανονικότητα των κατανομών οδήγησε σε στατιστικούς ελέγχους που παρέχουν αυξημένη σχετική βεβαιότητα των στατιστικών διαφορών που βρέθηκαν. Επίσης, θα πρέπει να γίνει σύγκριση των πειραμάτων με κάποια πρότυπη μέθοδο (gold standard method) προσδιορισμού της σύστασης του σώματος όπως παραδείγματος χάριν τη μέθοδο DXA. Πρέπει να αναφερθεί πως η μέθοδος DXA χρησιμοποιείται ως μέθοδος αναφοράς, όταν μια πρότυπη μέθοδος, όπως η ζύγιση στο νερό ή ένας συνδυασμός πρότυπων μεθόδων (π.χ. μοντέλο 3 ή 4 τμημάτων) δεν είναι διαθέσιμα. Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η διαφορετική εκθετική εξασθένηση της έντασης των δυο χρησιμοποιούμενων ακτίνων Χ, οι οποίες έχουν διαφορετική ενέργεια άρα και μήκος κύματος, η μια 40 keV ( $\lambda=31$  pm) και η δεύτερη 70 keV ( $\lambda=17.7$  pm), όταν περνούν μέσα από τους διαφορετικούς ιστούς του σώματος. Η επίλυση των δύο εξισώσεων που προκύπτουν, οδηγεί στον υπολογισμό των οστικών αλάτων και των μαλακών ιστών. Στη συνέχεια, οι μαλακοί ιστοί μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε μάζα λίπους, μάζα μη λίπους και μάζα οστών. Όμως στη μέτρηση του ποσοστού λίπους η μέθοδος BIA παρουσιάζει το εξής πρόβλημα, ενώ η τιμή του τυπικού σφάλματος εκτίμησης (για ολόκληρο το σώμα) κυμαίνεται συνήθως κάτω του 3%, για μεμονωμένα άτομα, το τυπικό σφάλμα πρόβλεψης ενδέχεται να είναι πολύ μεγαλύτερο (18).

## Βιβλιογραφία

1. **Wang Z.M., Pierson R.N, Jr. and Heymsfield, S.B.,.** The five level model: A new approach to organizing body-composition research. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1992, 56(1), σσ. 527-58.
2. **Ellis K.J.** Human Body Composition: In Vivo Methods. *PHYSIOLOGICAL REVIEWS*. 2000, 80(2), pp:649-680.
3. **Snyder W. S., Cook M. J., Nasset E. S. et al.** *Report of the Task Group on Reference Man: ICRP-23*. New York : Pergamon Press, 1984.
4. **Moore F. D., Olesen K. H., McMurray J. D. et al.** *The Body Cell Mass and Its Supporting Environment*. Philadelphia : Saunders, 1963.
5. **Gamble J. L., Robertson J. S., Hannigan C. A.** Chloride, bromide, sodium, and sucrose spaces in man. *J Clin Invest*. 1953, 32(6), pp: 483-489.
6. **Cohn S. H., Vartsky D., Yasumura S., et al.** Compartmental body composition based on total-body nitrogen, potassium, and calcium. *Am J Physiol*. 1980, 239(6), pp: E524-30.
7. **Dulloo A.G., Jacquet J., Solinas G., Montani J.-P., Schutz Y.,.** Body composition phenotypes in pathways to obesity and the metabolic syndrome. *International Journal of Obesity*. 2010, 34(2), pp: S4–S17.
8. **McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L.** *Exercise physiology : energy, nutrition, and human performance*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
9. **Lohman T.G.** Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Excercise Sports Sci Rev*. 1986, 14, pp: 325-357.
10. **Dempster P., Aitkens S.** A new air displacement method for the determination of human body composition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1995, 27(12), pp: 1692-1697.
11. **Heymsfield S. B., Wang J., Heshka S., et al.** Dual-photon absorptiometry: comparison of bone mineral and soft tissue mass measurements in vivo with established methods. *Am J Clin Nutr*. 1989, 49(6), pp:1283-9.
12. **Μανιός Γ.** *Διατροφική αξιολόγηση-Διαιτολογικό και ιατρικό ιστορικό, σωματομετρικοί, κλινική και βιοχημικοί δείκτες*. σ.λ. : ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ, 2006.
13. **Despres J.P., Ross R., Lemieux S.,.** *Imaging techniques applied to the measurement of human body composition*. In: *Human Body Composition*, edited by A. F. Roche, S. B. Heymsfield, and T. G. Lohman. σ.λ. : Human Kinetics, 1996. pp: 149-166.



14. **Gallagher D., Allen A., Wang Z., Heymsfield S.B., Krasnow N.** Smaller organ tissue mass in the elderly fails to explain lower resting metabolic rate. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2000, 904, pp:449-55.
15. **Boesch C., Slotboom J., Hoppeler H., Kreis R.** In vivo determination of intra-myocellular lipids in human muscle by means of localized H-MR spectroscopy. *Magnetic Resonance in Medicine*. 1997, 37(4), pp:484-93.
16. **Heymsfield S., Lohman t., Wang Z., Going S.,.** *Human Body Composition-2nd Edition*. 2005.
17. **Kalef-Ezra JA, Valakis ST, Soupsanas T.** A high-sensitivity multidetector whole-body counter. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011, 144(1-4), pp:415-8.
18. **Ζαφειρόπουλος Β.** Μέτρηση σύστασης του ανθρώπινου σώματος. Αθήνα : Σύνδεσμος ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών, 2015.
19. **Παπανδρέου Δ.** Εκτίμηση της σύνθεσης σωματος και του σωματικού λίπους. *Σημειώσεις μαθήματος διατροφής διαιτολογίας*. Θεσσαλονικη : s.n.
20. **Buendia R., Seoane F.,Lindecrantz K., Bosaeus I.,Gil-Pita R.,Johannsson G., Ellegård L.,Ward L.C.** Estimation of body fluids with bioimpedance spectroscopy: state of the art methods and proposal of novel methods. *Physiological Measurement - IOPscience*. 2015, 36(10), pp:2171-87.
21. **πρακτικά, συσκευής.** Bioelectrical Impedance Analysis in body composition measurements. December 1994, National Institutes of Health, Technology Assessment Conference statements.
22. **Grimnes S.** Impedance measurement of individual skin surface electrodes. *Medical and Biological Engineering and Computing*. 1983, 21(6), pp: 750-755.
23. **Grimnes S., Martinsen O.G.,.** *Bioimpedance and Bioelectricity Basics-third edition*. s.l. : Elsevier, 2014.
24. **Cole K.S.** *Membranes, Ions and Impulses: A Chapter of Classical Biophysics*. Berkeley : University of California Press, 1972.
25. **Ellis K.J., Shypailo R.J. and Wong W.W.,.** Measurement of body water by multifrequency bioelectrical impedance spectroscopy in a multiethnic pediatric population. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1999, 70(5), pp: 847-853.
26. **DeLorenzo A., Andreoli A., Matthie J., Withers P.,.** Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *Journal of Applied Physiology*. 1997, 82(5), pp: 1542-1558.
27. **Ritz P., Vol S., Berrut G., Tack I., Arnaud M.J., Tichet J.,.** Influence of gender and body composition on hydration and body water spaces. *Clinical Nutrition*. 2008, 27(5), pp: 740-746.

28. **Zafiropulos V., Chatzi V., Giagkidis G. et al.** Longitudinal study of Intracellular water and growth in children aged 8-11 years. *Obesity Facts – The European Journal of Obesity*. 2015, 8 (1), pp: 198.
29. **Piccoli A.** A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: the RXc graph. *Kidney International*. 1994, 46(2), pp: 534-539.
30. **A., Piccoli.** Identification of operational clues to dry weight prescription in hemodialysis using bioimpedance vector analysis. *Kidney International*. 1998, 53(4), pp: 1036–1043.
31. **Khalil S.A., Mohktar M.S., Ibrahim F.,** The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases. *Sensors*. 2014, 14(6), pp: 10895-10928.
32. **Martinsen O.G., Grimnes S.,** *Bioimpedance and Bioelectricity Basics*. s.l. : Academic Press: Waltham, MA, USA, 2011.
33. **Bracco D., Thiébaud D et al.** Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and dexta in humans. *Journal of Applied Physiology*. 1996, 81(6), pp: 2580-2587.
34. **Kyle U.G., Bosaeus I. et al.** Bioelectrical impedance analysis—Part ii: Utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*. 2004, 23(6), pp: 1440-1453.
35. **L'Abée C., Poorts-Borger P.H., Gorter E.H., Piccoli A., Stolk R.P., Sauer P.J.,** The bioelectrical impedance vector migration in healthy infants. *Clinical Nutrition*. 2010, 29(2), pp: 222-226.
36. **Piccoli A., Fanos V., Peruzzi L. et al.** Reference values of the bioelectrical impedance vector in neonates in the first week after birth. *Nutrition*. 2002, 18(5): 383-7.
37. **Collins C.T., Reid J., Makrides M. et al.** Prediction of body water compartments in preterm infants by bioelectrical impedance spectroscopy. *Eur J Clin Nutr*. 2013, 67 (1), pp:S47-53.
38. **Brantlov S., Jørdal L., Lange A., Rittig S., Ward L.C.,** Standardisation of bioelectrical impedance analysis for the estimation of body composition in healthy paediatric populations: a systematic review. *Journal of Medical Engineering & Technology*. 2017, 41(6), pp:460-479.
39. **Gudivaka R., Schoeller D., Kushner R., Bolt M.,** Single-and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J. Appl. Physiol*. 1999, 87(3), pp:1087–1096.
40. **Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Hall C.B., Siders W.A.,** Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol*. 1986, 60(4), pp:1327–1332.
41. **Xie X., Kolthoff N., Bärenholt O., Nielsen S.** Validation of a leg-to-leg bioimpedance analysis system in assessing body composition in postmenopausal women. *Int. J. Obes*. 1999, 23(10), pp:1079–1084.
42. **Utter A.C., Nieman D.C., Ward A.N., Butterworth D.E.** Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women. *Am. J. Clin. Nutr*. 1999, 69(4), pp: 603–607.

43. **Deurenberg P., Deurenberg-Yap M.,** Validation of skinfold thickness and hand-held impedance measurements for estimation of body fat percentage among singaporean chinese, malay and indian subjects. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2002, 11(1), pp: 1–7.
44. **Ghosh S., Meister D., Cowen S., Hannan J.W., Ferguson A.,** Body composition at the bedside. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* 1997, 9(8), pp:783-8.
45. **Hoffer E.C., Meador C.K., Simpson D.C.** Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J. Appl. Physiol.* 1969, 27(4), pp: 531–534.
46. **Nyboer J.** *Electrical Impedance Plethysmograph.* USA : 2nd ed.; Thomas C., Ed.; Thomas publishers: Springfield, IL, 1970.
47. **Lukaski H.C., Bolonchuk W.W., Hall C.B., Siders W.A.,** Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol.* 1986, 60(4), pp: 1327–1332.
48. **Buchholz A.C., Bartok C., Schoeller D.A.,** The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr. Clin. Pract.* 2004, 19(5), pp: 433–446.
49. **Nuñez C., Gallagher D., Visser M. et al.** Bioimpedance analysis: Evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact footpad electrodes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997, 29(4), pp: 524–531.
50. **Ackmann J.J., Seitz M.A.,** Methods of complex impedance measurements in biologic tissue. *Crit Rev Biomed Eng.* 1984, 11(4), pp:281–311.
51. **Lukaski H.C, Bolonchuk W.W.,** Estimation of body fluid volumes using tetrapolar bioelectrical impedance measurements. *Aviat Space Environ Med.* 1988, 59(12), pp: 1163–1169.
52. **Gartner A., Maire B., Delpeuch F. et al.** Importance of electrode position in bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr.* 1992, 56(6), pp: 1067-8.
53. **Raimann J.G, Zhu F., Wang J. et al.** Comparison of fluid volume estimates in chronic hemodialysis patients by bioimpedance, direct isotopic, and dilution methods. 2013, 85(4): 898-908.
54. **L.C., Ward.** Human body composition: yesterday, today, and tomorrow. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2018, 72(9), pp: 1201–1207.
55. **Tyagi R., Mishra S., Gaur N.,** Bioelectric impedance phase angle in carcinoma prostate - a hospital-based study. *International Journal of Medical Science and Public Health.* 2016, 5(9), pp: 1826-1830.
56. **Sanne Stegen, Wim Derave, Patrick Calders, Christophe Van Laethem, Piet Pattyn.** Physical Fitness in Morbidly Obese Patients: Effect of Gastric Bypass Surgery and Exercise Training. *Obesity Surgery.* 2011, 21(1), pp:61-70.
57. **Dylke E.S., Schembri G.P.,Bailey D.L. et al.** Diagnosis of upper limb lymphedema: development of an evidence-based approach. *ACTA ONCOLOGICA.* 2016, 55(12), pp: 1477-1483.

58. **Geddes L., Baker L.E.,** The specific resistance of biological material- a compendium of data for the biomedical engineer and physiologist. *Med Biol Eng.* 1967, 5(3), pp: 271–93.
59. **Ward L.C.** Bioelectrical impedance analysis for body composition assessment: reflections on accuracy, clinical utility, and standardisation. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2019, 73(2), pp: 194-199.
60. **Kyle U.G., Bosaeus I., De Lorenzo A.D. et al.** Bioelectrical impedance analysis- Part i: Review of principles and methods. *Clin. Nutr.* 2004, 23(5), pp: 1226–1243.
61. **Serrano M.D.M., Montero de Espinosa M.G., Zamorano E.M.,** *Relationship between physical measures of anthropometry and bioimpedance measures.* New York City, NY, USA : Springer, 2012. σσ. pp. 459–473.
62. **Kushner R.F., Gudivaka R., Schoeller D.A.** Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr.* 1996, 64(3), pp: 4235-75.
63. **Kyle U.G., Genton L., Karsegard L. et al.** Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20- 94 years. *Nutrition.* 2001, 17(3), pp: 248–253.
64. **Sun S.S., Chumlea W.C., Heymsfield S.B. et al.** Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003, 77(2), pp: 331–340.
65. **Kyle U.G., Genton L., Slosman D.O., Pichard C.** Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition.* 2001, 17(7-8), pp: 534–541.
66. **Kirchengast S.** Gender differences in body composition from childhood to old age: An evolutionary point of view. *J. Life Sci.* 2010, 2(1), pp: 1–10.
67. **Genton L., Hans D., Kyle U.G., Pichard C.** Dual-energy x-ray absorptiometry and body composition: Differences between devices and comparison with reference methods. *Nutrition.* 2002, 18(1), pp: 66–70.
68. **Fuller N., Sawyer M., Laskey M. et al.** Prediction of body composition in elderly men over 75 years of age. *Ann. Hum. Biol.* 1996, 23(2), pp: 127–147.
69. **Kim J.H., Choi S.H., Lim S. et al.** Assessment of appendicular skeletal muscle mass by bioimpedance in older community- dwelling korean adults. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2014, 58(3), pp: 303–307.
70. **Tengvall M., Ellegård L., Malmros V. et al.** Body composition in the elderly: Reference values and bioelectrical impedance spectroscopy to predict total body skeletal muscle mass. *Clin. Nutr.* 2009, 28(1), pp: 52–58.
71. **Buffa R., Floris G.U., Putzu P.F., Marini E.,** Body composition variations in ageing. *Coll. Antropol.* 2011, 35(1), pp: 259–265.

72. **Wells J.C., Fuller N.J., Dewit O. et al.** Four-component model of body composition in children: density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. *Am J Clin Nutr.* 1999, 69(5), pp: 904–912.
73. **Haroun D., Taylor S.J., Viner R.M. et al.** Validation of bioelectrical impedance analysis in adolescents across different ethnic groups. *Obesity (Silver Spring).* 2010, 18(6), pp: 1252–1259.
74. **Montagnese C., Williams J.E., Haroun D. et al.** Is a single bioelectrical impedance equation valid for children of wide ranges of age, pubertal status and nutritional status? Evidence from the 4-component model. *Eur J Clin Nutr.* 2013, 67(1), pp: S34–S39.
75. **Kyle U.G., Earthman C.P., Pichard C., Coss-Bu J.A.** Body composition during growth in children: limitations and perspectives of bioelectrical impedance analysis. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2015, 69(12), pp: 1298–1305.
76. **Eisenmann J.C., Heelan K.A, Welk G.J.** Assessing Body Composition among 3- to 8-Year- Old Children: Anthropometry, BIA and DXA. *Obesity research.* 2004, 12(10), pp: 1633-40.
77. **Goran M.I., Kaskoun M.C., Carpenter W.H. et al.** Estimating body composition of young children by using bioelectrical resistance. *J Appl Physiol.* 1993, 75(4), pp: 1776–80.
78. **Deurenberg P., Van der Kooy K., Leenen R. et al.** Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: A cross-validation study. *Int. J. Obes.* 1991, 15(1), pp: 17–25.
79. **Deurenberg P., Deurenberg-Yap M.,.** Validity of body composition methods across ethnic population groups. *Acta Diabetol.* 2003, 40(1), pp: s246– s249.
80. **Kotler D.P., Burastero S., Wang J., Pierson R.,.** Prediction of body cell mass, fat-free mass, and total body water with bioelectrical impedance analysis: Effects of race, sex, and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 1996, 64(3), pp: 489S– 497S.
81. **Nigam P., Misra A., Colles S.L.** Comparison of dexa-derived body fat measurement to two race-specific bioelectrical impedance equations in healthy indians. *Diabetes Metab. Syndr.* 2013, 7(2), pp: 72–77.
82. **Scheltinga M.R., Jacobs D.O., Kimbrough T.D., Wilmore D.W.** Alterations in body fluid content can be detected by bioelectrical impedance analysis. *J Surg Res.* 1991, 50(5), pp: 461-8.
83. **Roos A.N., Westendorp R.G.J., Frolich M., Meinders A.E.** Tetrapolar body impedance is influenced by body posture and plasma sodium concentration. *Eur J Clin Nutr.* 1992, 46(1), pp: 53-60.
84. **Fogelholm M., Sievanen H., Kukkonen-Harjula K. et al.** Effects of meal and its electrolytes on bioelectrical impedance. *Basic Life Sci.* 1993, 60, pp: 331-2.

85. **Deurenberg P., Weststrate J.A., Paymans I., van der Kooy K.** Factors affecting bioelectrical impedance measurements in humans. *Eur J Clin Nutr.* 1988, 42(12), pp: 1017-22.
86. **Zhu F., Schneditz D., Wang E., Levin N.W.** Dynamics of segmental extracellular volumes during changes in body position by bioimpedance analysis. *J. Appl. Physiol.* 1998, 85(2), pp: 497–504.
87. **Heitmann B.** Impedance: A valid method in assessment of body composition? *Eur. J. Clin. Nutr.* 1994, 48(4), pp: 228–248.
88. **Kyle U.G., Pichard C.,** Dynamic assessment of fat-free mass during catabolism and recovery. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 2000, 3(4), pp: 317–322.
89. **Kyle U.G., Schutz Y., Dupertuis Y.M., Pichard C.** Body composition interpretation: Contributions of the fat-free mass index and the body fat mass index. *Nutrition.* 2003, 19(7-8), pp: 597–604.
90. **Pichard C., Kyle U.G., Bracco D. et al.** Reference values of fat-free and fat masses by bioelectrical impedance analysis in 3393 healthy subjects. *Nutrition.* 2000, 16(4), pp: 245–254.
91. **Deurenberg P., Weststrate J.A., Seidell J.C.** Body mass index as a measure of body fatness: Age- and sex-specific prediction formulas. *Br. J. Nutr.* 1991, 65(2), pp: 105–114.
92. **B.L., Heitmann.** Evaluation of body fat estimated from body mass index, skinfolds and impedance. A comparative study. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1990, 44(11), pp: 831–837.
93. **Pichler G.P., Amouzadeh-Ghadikolai O., Leis A., Skrabal F.** A critical analysis of whole body bioimpedance spectroscopy (BIS) for the estimation of body compartments in health and disease. *Med. Eng. Phys.* 2013, 35(5), pp: 616–625.
94. **Sergi G., Bussolotto M., Perini P. et al.** Accuracy of bioelectrical impedance analysis in estimation of extracellular space in healthy subjects and in fluid retention states. *Ann. Nutr. Metab.* 1994, 38(3), pp: 158–165.
95. **Deurenberg P., Tagliabue A., Schouten F.J.** Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *Br. J. Nutr.* 1995, 73(3), pp: 349–358.
96. **Houtkooper L.B., Lohman T.G., Going S.B., Howell W.H.** Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr.* 1996, 64(3), pp: 436S–48S.
97. **Slaughter M.H., Lohman T.G., Boileau R.A. et al.** Skinfold Equations for Estimation of Body Fatness in Children and Youth. *Human Biology.* 1988, 60(5), pp: 709-723.
98. Laerd Statistics. <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/sphericity-statistical-guide-2.php>. [Ηλεκτρονικό] 2018.
99. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bland%20%80%93Altman\\_plot](https://en.wikipedia.org/wiki/Bland%20%80%93Altman_plot). [Ηλεκτρονικό]

100. **Χ., Αναξαγώρου.** Διπλωματική εργασία: Τεχνικές, μέθοδοι και κριτήρια επιλογής βέλτιστου στατιστικού μοντέλου, με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου της R. *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σχολή εφαρμοσμένων μαθηματικών και φυσικής επιστημών, τομέας Μαθηματικών.* Αθήνα : s.n., 2013.
101. **Roekenes J, Strommen M, Kulseng B, Martins C.** The Impact of Feet Callosities, Arm Posture, and Usage of Electrolyte Wipes on Body Composition by Bioelectrical Impedance Analysis in Morbidly Obese Adults. *Obesity Facts.* 2015, 8(6), pp: 364–372.
102. **Demura S., Yamaji S., Goshi F., Nagasawa Y.** The Influence of Posture Change on Measurements of Relative Body Fat in the Bioimpedance Analysis Method. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2001, 20(1), pp: 29-35.
103. **Καλέφ-Εζρά Τ., Χατζηκωνσταντίνου., Γλάρος Δ.,.** Φασματοσκοπία ηλεκτρικής εμπέδησης για την in vivo μετρηση του ολόσωμου λίπους. *22ο πανελλήνιο ενδοκρινολογικό συνέδριο .* 1995.

## Παράρτημα

### A. Το συμφωνητικό εθελοντικής συμμετοχής στις μετρήσεις



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΝΝΙΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

### Έντυπο συναίνεσης δοκιμαζόμενου σε ερευνητική εργασία

**Τίτλος ερευνητικής εργασίας:** Βελτιστοποίηση πρωτοκόλλου για την ανάλυση της σύστασης σώματος με χρήση της μεθόδου βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA).

**Επιστημονικοί υπεύθυνοι:** Νικόλαος Κουρκουμέλης, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής σχολής Π.Ι, email: [nkourkou@cc.uoi.gr](mailto:nkourkou@cc.uoi.gr), τηλ.: 2651007594, Τζων Καλέφ-Εζρά, Καθηγητής Ιατρικής σχολής Π.Ι, email: [jkalef@cc.uoi.gr](mailto:jkalef@cc.uoi.gr), τηλ.: 2651007597.

**Ερευνητές:** Νικόλαος Κουρκουμέλης, Ζαφείρη Γεωργία (email: [georgia\\_2302@hotmail.gr](mailto:georgia_2302@hotmail.gr), τηλ.: 6984682984)

### **1. Σκοπός της ερευνητικής εργασίας**

Σκοπός της μελέτης είναι η βελτιστοποίηση του υπάρχοντος πρωτοκόλλου για την ανάλυση της σύστασης του ανθρώπινου σώματος και ο προσδιορισμός της επιρροής της στάσης του σώματος, της κατάστασης του δέρματος αλλά και της κατάστασης ενυδάτωσης του οργανισμού στις μετρούμενες τιμές.

### **2. Διαδικασία**

Οι συμμετέχοντες θα αξιολογηθούν 1 (μία) φορά στον χώρο προπόνησής τους ή στο εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, ενώ η διάρκεια του συνόλου των μετρήσεων υπολογίζεται σε 30-45 λεπτά. Για την λήψη των απαραίτητων δεδομένων εισάγονται στο μετρητικό σύστημα πληροφορίες για την ηλικία, το φύλο, το βάρος, το ύψος και το επίπεδο της αθλητικής δραστηριότητας, ενώ χρησιμοποιούνται και τέσσερα ηλεκτρόδια από τα οποία δύο συνδέονται στο δεξί πόδι και δύο στο δεξί χέρι. Μέσω αυτών ρέει ηλεκτρικό ρεύμα της τάξης των mA.

### **3. Κίνδυνοι και ενοχλήσεις**

Μέχρι στιγμής δεν έχουν παρατηρηθεί κίνδυνοι και ενοχλήσεις στους συμμετέχοντες στην έρευνα, καθώς η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιείται είναι αμελητέα και έχει διάρκεια λίγων δευτερολέπτων.



#### **4. Προσδοκώμενες ωφέλειες**

Με την συμμετοχή σας θα λάβετε πληροφορίες για την σύσταση του σώματος σας, αλλά και δωρεάν αποτελέσματα από αξιολογήσεις που στο εμπόριο κοστίζουν δεκάδες ευρώ.

#### **5. Δημοσιεύσεις δεδομένων-αποτελεσμάτων**

Η συμμετοχή σας στην έρευνα συνεπάγεται ότι συμφωνείτε με την μελλοντική δημοσίευση των αποτελεσμάτων της, με την προϋπόθεση ότι οι πληροφορίες θα είναι ανώνυμες και δε θα αποκαλυφθούν τα ονόματα των συμμετεχόντων. Τα δεδομένα που θα συγκεντρωθούν θα κωδικοποιηθούν με αριθμό, ώστε το όνομα σας δε θα φαίνεται πουθενά.

#### **6. Πληροφορίες**

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις γύρω από το σκοπό ή την διαδικασία της εργασίας. Αν έχετε οποιαδήποτε αμφιβολία ή ερώτηση ζητήστε μας να σας δώσουμε διευκρινίσεις.

#### **7. Ελευθερία συναίνεσης**

Η συμμετοχή σας στην εργασία είναι εθελοντική. Είστε ελεύθερος-η να μην συναινέσετε ή να διακόψετε τη συμμετοχή σας όποτε το επιθυμείτε.

#### **8. Δήλωση συναίνεσης**

Διάβασα το παρόν έντυπο και κατανοώ πλήρως τις διαδικασίες που καλούμαι να ακολουθήσω. Συναινώ να συμμετάσχω στην ερευνητική εργασία.

Ημερομηνία: \_\_/\_\_/\_\_

Ονοματεπώνυμο και υπογραφή συμμετέχοντος