

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

**"Αξιολόγηση Σύστασης Σώματος Σε Κακοήθη
Παχυσαρκία"**

ΑΔΑΜ ΜΑΡΙΝΑ Α.Μ.: 20001

Επιβλέπων καθηγητής: Σταύρος Α. Κάβουρας
Συνεπιβλέποντες καθηγητές: Αντωνία-Λήδα Ματάλα
Μαρία Γιαννακούλια

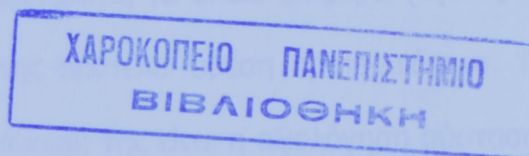
ΑΘΗΝΑ 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους οι οποίοι με βοήθησαν για να ολοκληρώσω την πτυχιική μου μελέτη. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω το επιβλέποντα καθηγητή μου Κ^ο Σταύρο Α. Κάβουρα, ο οποίος με καθοδήγησε σωστά και μου επιστούσε την προσοχή όπου έπρεπε. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου και την υπόλοιπη οικογένεια μου, οι οποίοι μου συμπαραστάθηκαν πολύ σε αυτό που έκανα, όπως επίσης και τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου, οι οποίοι ήταν πάντα δίπλα μου και με βοήθησαν με κάθε τρόπο. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα άτομα από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, οι οποίοι με βοήθησαν στη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της έρευνας.

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Αρ. Κτημ: _____
Αρ. Εισαγ: 13.087
Κωδ. Συλλογής: 10059
Ταξινόμ. Αριθμ: ΠΤΥ ΑΔΑ



Στο Ν. Δ. που έφυγε νωρίς...

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παχυσαρκία έχει πάρει διαστάσεις επιδημίας σε όλο τον κόσμο. Αναλογιζόμενοι τα σοβαρά προβλήματα, τα οποία επιφέρει (υγείας, ψυχολογικά, οικονομικά), η αντιμετώπισή της αποτελεί άμεση προτεραιότητα. Ένας βασικό βήμα για την καλύτερη αντιμετώπισή της είναι η αξιολόγηση σύστασης σώματος. Αρχικά, στην παρούσα μελέτη υπήρξε προσπάθεια, να αξιολογηθούν οι διάφορες υπάρχουσες μέθοδοι και να βρεθεί η καταλληλότερη για την κακοήγη παχυσαρκία ($\Delta\text{ΜΣ} > 40 \text{ kg/m}^2$). Υπήρξε δυσκολία, διότι στα άτομα αυτά υπάρχουν πάρα πολλοί περιορισμοί, λόγω της μεταβαλλόμενης σωματικής ενυδάτωσης, σκελετικών μυών, οστικής μάζας και σύστασης FFM και κυρίως λόγω του μεγάλου όγκου τους. Επιπρόσθετα, σε αυτόν τον τομέα δεν υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες έρευνες, έτσι ώστε να μπορεί κανείς με σιγουριά να υπολογίσει το σωματικό λίπος στα άτομα αυτά, χωρίς μεγάλη πιθανότητα σφάλματος. Από τη ανασκόπηση βρέθηκε ότι για τα άτομα αυτά, οι μέθοδοι της αερο- και υδρο-πυκνομετρίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ακρίβεια αλλά έχουν υψηλό κόστος και είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) είναι απλή και με χαμηλό κόστος αλλά η αξιοπιστία της είναι ικανοποιητική μόνο όταν χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες εξισώσεις. Όλες οι υπόλοιπες μέθοδοι έχουν διάφορους περιορισμούς και προβλήματα και σε σχέση με τη σύσταση σώματος στα παχύσαρκα άτομα, αλλά και με τις ίδιες τις μεθόδους, κυρίως σχετικά με το κόστος, το μέγεθος των μηχανημάτων, της εκπαίδευσης των χειριστών και την ανάγκη ύπαρξης ειδικά διαμορφωμένων χώρων και εργαστηρίων. Επομένως, εξαιτίας της ανυπαρξίας

μιας ακριβούς, εύχρηστης και οικονομικής μεθόδου αξιολόγησης σύστασης σώματος σε κακοήθη παχυσαρκία υπήρξε προσπάθεια να βρεθούν οι καταλληλότερες εξισώσεις στη μέθοδο BIA, για ενήλικες ελληνικής καταγωγής, θέτοντας ως μέθοδο αναφοράς τη μέθοδο διάλυσης του σημασμένου νερού (D₂O). Όμως, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δεν έχουν συμπεριληφθεί στη συγκεκριμένη μελέτη, λόγω του ότι δεν έχει ολοκληρωθεί η ανάλυση.

1.1	Εισαγωγή	8
1.1.1	Καταστάσεις παχυσαρκίας	9
1.1.2	Καταστάσεις παχυσαρκίας και διαβήτη τύπου 2	10
1.1.3	Καταστάσεις παχυσαρκίας και καρδιαγγειακή	11
1.1.4	Επιδεικνυόμενα κινδύνου	12
1.2	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας λίπους	13
1.2.1	Αντικείμενο	15
1.2.2	Υδρογόνο	19
1.2.3	Υδρογόνο	20
1.2.4	Υδρογόνο – Τεχνητά διαλύματα	24
1.2.5	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας και διάλυσης υδρογόνου	25
1.2.6	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας και διάλυσης υδρογόνου	30
1.2.7	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας και διάλυσης υδρογόνου	33
1.2.8	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας και διάλυσης υδρογόνου	40
1.2.9	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας και διάλυσης υδρογόνου	41
1.2.10	Μέθοδοι μέτρησης ποσότητας και διάλυσης υδρογόνου	47
2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	49
3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	54
4	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	58
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ



1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Εφαρμογές της Σύστασης Σώματος	6
1.3	Μοντέλα Σύστασης Σώματος	8
1.3.1	Μοντέλο των δύο διαμερισμάτων	8
1.3.2	Μοντέλο των τριών διαμερισμάτων	9
1.3.3	Μοντέλο των τεσσάρων διαμερισμάτων	10
1.3.4	Πολυπαραγοντικό Μοντέλο	11
1.4	Μέθοδοι Προσδιορισμού Σύστασης Σώματος	13
1.4.1	Ανθρωπομετρία	15
1.4.2	Υπέρηχοι	19
1.4.3	Πυκνομετρία	20
1.4.4	Υδρομετρία – Τεχνικές διάλυσης	24
1.4.5	Μέτρηση ολικού σώματος και ανάλυση ενεργοποίησης νετρονίου	29
1.4.6	Βιοηλεκτρική αντίσταση και αγωγιμότητα	33
1.4.7	Απορροφησιομετρία	40
1.4.8	Τεχνικές απεικόνισης	44
1.4.9	Εγγύς υπέρυθρη αλληλεπίδραση	47
2.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	49
3.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	54
4.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	58
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1. Εισαγωγή

Η παχυσαρκία στις ημέρες μας, έχει πάρει τις διαστάσεις επιδημίας και αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς τόσο στις δυτικές χώρες, όσο και στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου. Στην πλειονότητα των χωρών της Ευρώπης ο αριθμός των παχύσαρκων ατόμων, έχει αυξηθεί κατά 10-50% τα τελευταία 10 χρόνια. Ο ίδιος περίπου ρυθμός αύξησης ισχύει σε όλον τον κόσμο, ενώ στην Αμερική ο ρυθμός είναι ακόμα μεγαλύτερος. Η παχυσαρκία επηρεάζει πολλούς τομείς όπως την υγεία, την οικονομία και την κοινωνία δημιουργώντας στα παχύσαρκα άτομα κοινωνικό αποκλεισμό, ρατσισμό και ψυχολογικά προβλήματα, όπως χαμηλή αυτοεκτίμηση μέχρι και κατάθλιψη. (International Obesity Task Force, IOTF)

Όσον αφορά το οικονομικό κόστος λόγω της παχυσαρκίας, αρκεί να αναφερθεί ότι στις δυτικές χώρες το 2-8% των χρημάτων που δίνονται για την υγεία, ξοδεύονται για τα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω της παχυσαρκίας. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται τα κονδύλια για την αντιμετώπιση άλλων προβλημάτων υγείας όπως ο καρκίνος. (IOTF)

Η παχυσαρκία αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα υγείας, το οποίο μειώνει το προσδόκιμο επιβίωσης με το να αυξάνει τον κίνδυνο για ανάπτυξη καρδιαγγειακών προβλημάτων, όπως στεφανιαία νόσο και υπέρταση, αλλά και διαβήτη τύπου 2, αποφρακτική πνευμονοπάθεια, οστεοαρθρίτιδα και συγκεκριμένων τύπων καρκίνου (Heyward & Stolarczyk, 1996). Η πιθανότητα ανάπτυξης υπέρτασης, υπερλιπιδαιμίας και διαβήτη τύπου 2, είναι δύο με τρεις

φορές μεγαλύτερη σε παχύσαρκα άτομα (National Institutes of Health, 1985). Αρκεί να αναφερθεί ακόμα, ότι η παχυσαρκία αυξάνει τη θνησιμότητα 12 περίπου φορές σε άτομα ηλικίας 25-35 ετών, σε σχέση με άτομα φυσιολογικού βάρους. (IOTF)

Οι αυξημένοι κίνδυνοι που συνδέονται με την παχυσαρκία, σχετίζονται όχι μόνο με το συνολικό ποσοστό σωματικού λίπους, αλλά και με τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται το λίπος, ιδιαίτερα στην κοιλιακή περιοχή (ενδοκοιλιακό λίπος ή σπλαχνικό λίπος). Το σπλαχνικό λίπος αυξάνει περισσότερο τον κίνδυνο για καρδιαγγειακές παθήσεις και άλλα μεταβολικά νοσήματα, όπως διαβήτη τύπου 2, από ότι το συνολικό σωματικό λίπος (Heyward & Stolarczyk, 1996).

Τα οφέλη από τη μείωση του βάρους είναι πολλά και σημαντικά. Εκτός του ότι μειώνει τις επιπλοκές σε φυσιολογικές, μεταβολικές και ενδοκρινικές λειτουργίες, βελτιώνει ακόμα τη διάθεση, το άγχος, την κατάθλιψη, τις ψυχοκοινωνικές λειτουργίες αλλά και την ποιότητα ζωής. (IOTF)

Σύμφωνα με την NHANES III (National Health and Nutrition Examination), η παχυσαρκία ορίζεται ως Δείκτης Μάζας Σώματος (ΔΜΣ) μεγαλύτερος ή ίσος από $27,8 \text{ kg/m}^2$ για τους άνδρες και $27,3 \text{ kg/m}^2$ για τις γυναίκες, το οποίο αντιπροσωπεύει το 124% του επιθυμητού / ιδανικού σωματικού βάρους για τους άνδρες και το 120% του επιθυμητού / ιδανικού σωματικού βάρους για τις γυναίκες.

Σύμφωνα με το πρόσφατο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα EURODIET (Public Health Nutrition 2000), τα επιθυμητά όρια για το ΔΜΣ ορίζονται μεταξύ $21-22 \text{ kg/m}^2$ και για τα δύο φύλα. Υπήρχαν όμως αντιρρήσεις και τελικά το προτεινόμενο διάστημα που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ)

είναι 18,5-25 kg/m². Παρακάτω φαίνεται η ταξινόμηση των ατόμων σύμφωνα με το ΔΜΣ και τον κίνδυνο νοσηρότητας.

Χαρακτηρισμός	ΔΜΣ (kg/m ²)	Κίνδυνος νοσηρότητας
Ελλειποβαρής	<18,5 kg/m ²	Αυξημένος
Φυσιολογικός	18,5-24,9 kg/m ²	Συνήθης
Υπέρβαρος	25-29,9 kg/m ²	Αρκετά αυξημένος
Παχύσαρκος	>30 kg/m ²	
Σοβαρά	30-34,9 kg/m ²	Μέτριος
Πολύ σοβαρά	35-39,9 kg/m ²	Σοβαρός
Θνησιγενής	>40 kg/m ²	Πολύ σοβαρός

Ένας άλλος γρήγορος και απλός τρόπος για την εκτίμηση της παχυσαρκίας, είναι με τη βοήθεια των πινάκων ύψους – βάρους. Η χρήση όμως του ΔΜΣ και των πινάκων ύψους - βάρους, επιφέρουν τη λανθασμένη αντίληψη ότι το σωματικό βάρος είναι σημαντικότερο από το σωματικό λίπος. Πολλοί ασχολούνται κυρίως με το να χάσουν βάρος και να γίνουν αδύνατοι, ενώ δε γνωρίζουν ότι υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στο να έχει κάποιος χαμηλό σωματικό βάρος και στο να έχει χαμηλό σωματικό λίπος. Το διαχωρισμό αυτόν τον αντιλαμβάνεται κανείς, εάν σκεφτεί ότι οι μυώδεις αθλητές μπορεί να θεωρηθούν υπέρβαροι εξαιτίας της υπερβολικής μυώδης μάζας τους, ενώ οι ηλικιωμένοι λόγω της μικρότερης πυκνότητας στα κόκαλα μπορεί να ζυγίζουν λιγότερο από κάποιον νεότερο που να έχει το ίδιο ύψος. Επίσης, κάποια άτομα μπορεί να έχουν φυσιολογικό βάρος, αλλά το ποσοστό

του σωματικού λίπους τους να είναι αυξημένο (Hammond, 2000). Συνεπώς, η χρήση πινάκων ύψους-βάρους μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα σχετικά με το ποσοστό λίπους και τον επακόλουθο κίνδυνο υγείας. Για το λόγο αυτό, η παχυσαρκία ορίζεται ως το επιπλέον ποσοστό σωματικού λίπους για καθορισμένο σωματικό βάρος (Heyward & Stolarczyk, 1996).

Επομένως, θα έπρεπε να χρησιμοποιούνταν ιδανικά, πιο άμεσες μεθόδους για την εκτίμηση του λίπους από το ΔΜΣ, διότι δεν είναι τόσο ευαίσθητο στην παχυσαρκία και στους συγχυτικούς παράγοντες που συνδέονται με την άλιπη μάζα σώματος, το μέγεθος του σκελετού και το μήκος του ποδιού (Frankfield, 2001; Lohman, 1992; Prentice & Jebb, 2001). Θα πρέπει να τονιστεί επίσης, ότι ένα βασικό χαρακτηριστικό της ενηλικίωσης αποτελεί η αλλαγή της σύστασης και του βάρους σώματος. Αυτές οι αλλαγές συντελούνται από την εμβρυϊκή και φτάνουν μέχρι την τρίτη ηλικία, διότι η ανάπτυξη του οργανισμού συνεπάγεται όχι μόνο αύξηση στη μάζα του σώματος, αλλά και αλλαγές στην αναλογία των συστατικών που σχηματίζουν αυτή τη μάζα (Groff & Gropper, 2000).

Αντιλαμβάνεται κανείς λοιπόν ότι είναι αναγκαίο για τον καθένα να γνωρίζει τη σύσταση του σώματός του και κυρίως το ποσοστό του σωματικού λίπους. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό του συνολικού σωματικού λίπους μπορεί να υπολογιστεί από την εκτίμηση της λιπώδους μάζας (FM: Free Mass) και της άλιπης μάζας (FFM: Fat Free Mass) του ατόμου. Η λιπώδης μάζα περιλαμβάνει όλα τα λιπίδια του λιπώδους ιστού και άλλων ιστών, απαραίτητα ή μη απαραίτητα λίπη. Η άλιπη μάζα συνίσταται από όλες τις υπόλοιπες χημικές ουσίες και ιστούς, συμπεριλαμβανομένου το νερό, τους μύες, τους

συνδετικούς ιστούς, τα οστά και τα εσωτερικά όργανα. Ως όρος για τη σύσταση σώματος χρησιμοποιείται η ισχνή μάζα σώματος (LBM: Lean Body Mass), η οποία συγχέεται συχνά με τη FM. Σε αντίθεση όμως με τη FM, η LBM περιλαμβάνει ένα μικρό ποσοστό απαραίτητων λιπιδίων (2-3% στους άνδρες και 5-8% στις γυναίκες) (Lohman, 1992).

Ο υπολογισμός του σχετικού σωματικού λίπους (%BF: % Body Fat) προκύπτει από τη διαίρεση της FM με το συνολικό σωματικό βάρος (BW: Body Weight). Επομένως, $\%BF = (FM/BW) \times 100$. Το σύνηθες %BF είναι 15% για τους άνδρες και 23% για τις γυναίκες. Το ανώτερο ποσοστό σωματικού λίπους που θεωρείται ως όριο για την παχυσαρκία και αυξάνει τον κίνδυνο για τις διάφορες παθήσεις, είναι όταν $BF > 25\%$ για τους άνδρες και όταν $BF > 32\%$ για τις γυναίκες. Το μικρότερο αποδεκτό ποσοστό σωματικού λίπους είναι 5% για τους άνδρες και 12% για τις γυναίκες. Παρακάτω φαίνεται λεπτομερέστερα η ταξινόμηση των ατόμων σύμφωνα με το ποσοστό λίπους σώματος για άνδρες και γυναίκες (Lohman, 1992).

	Άνδρες	Γυναίκες
Σε κίνδυνο ¹	<5%	<8%
Κάτω του μέσου όρου	6-14%	9-22%
Μέσος όρος	15%	23%
Άνω του μέσου όρου	16-24%	24-31%
Σε κίνδυνο ²	>25%	>32%

¹Σε κίνδυνο για νοσήματα ή δυσλειτουργίες που σχετίζονται με υποσιτισμό

²Σε κίνδυνο για νοσήματα που σχετίζονται με την παχυσαρκία

1.2. Εφαρμογές της Σύστασης Σώματος

Επιπρόσθετα από την εκτίμηση του συνολικού και τοπικού σωματικού λίπους, τα οποία είναι πολύ χρήσιμα για την αναγνώριση των κινδύνων υγείας του εξεταζομένου, η αξιολόγηση της σύστασης σώματος είναι πολύ σημαντική και έχει πολλές χρήσεις στο χώρο της υγείας και του αθλητισμού.

Εάν κάποιος έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις αλλαγές της FFM και της FM, μπορεί εύκολα να κατανοήσει το μεταβολισμό της ενέργειας και το πώς επιδρούν διάφορες παθήσεις στη σύσταση σώματος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική διαιτητική παρέμβαση και παρέμβαση στην άσκηση, σε περίπτωση σταδιακής απώλειας FM λόγω υποσιτισμού, γήρανσης, τραυματισμών ή συγκεκριμένων παθήσεων. Συγκεκριμένα, η σύσταση σώματος είναι χρήσιμο να εκτιμάται σε παθήσεις όπως στη νευρική ανορεξία (Mazess και συν., 1990), στον καρκίνο (Fredrix και συν., 1990), στο AIDS (Rabeneck και συν., 1993), στην χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (Schols και συν., 1991), στην κίρρωση ήπατος (Zillikens και συν., 1992), στην κυστική ίνωση (Splicher και συν., 1993), σε τραυματισμό της σπονδυλικής στήλης (George και συν., 1988), στα καρδιαγγειακά νοσήματα (Tanaka και συν., 1993), στη νεφροπάθεια τελικού σταδίου (Saxenhofer και συν., 1992), στη μεταμόσχευση νεφρού (Hart και συν., 1993) και καρδιάς (Keteyian και συν., 1992).

Μια άλλη σημαντική παράμετρος στη σύσταση σώματος είναι η εκτίμηση του υγιούς σωματικού βάρους και η διατύπωση διαιτητικών συστάσεων και συστάσεων άσκησης, ιδιαίτερα σε παχύσαρκα άτομα. Πολύ συχνά όσοι επιθυμούν να αντιμετωπίσουν την παχυσαρκία, επικεντρώνονται στην απώλεια βάρους και όχι στην απώλεια σωματικού λίπους. Ο πιο

αποτελεσματικός τρόπος για τη δημιουργία αρνητικού ισοζυγίου ενέργειας, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η απώλεια λίπους, είναι με συνδυασμό δίαιτας (περιορισμένη πρόσληψη ενέργειας και λίπους) και άσκησης (κυρίως αεροβική και γυμναστική με βάρη). Δίαιτα υψηλή σε υδατάνθρακες και χαμηλή σε λίπος, μπορεί να αποτρέψει την εξάντληση των αποθηκών γλυκογόνου των μυών και να μεγιστοποιήσει τη συμβολή των υδατανθράκων στη διατήρηση των πρωτεϊνικών αποθεμάτων, προκειμένου να διατηρηθεί η FFM. Η γυμναστική με βάρη αντισταθμίζει την απώλεια FFM που σχετίζεται με τον περιορισμό των θερμίδων, με το να αυξάνει τη μυϊκή και την οστική μάζα. Επομένως, κατά την εφαρμογή της δίαιτας, αντί να μειωθεί η FFM μαζί με τη μείωση της FM, διατηρείται ή αυξάνεται, ανάλογα με τα αρχικά επίπεδα φυσικής δραστηριότητας. Επιπρόσθετα, η αεροβική γυμναστική χαμηλής ή μέτριας έντασης αυξάνει την κινητοποίηση και την χρησιμοποίηση του λίπους για την παραγωγή ενέργειας, καθιστώντας την έναν αποτελεσματικό τρόπο για τη μείωση του σωματικού λίπους (Ρανίου και συν., 1995).

Η εκτίμηση του υγιούς σωματικού βάρους είναι πολύ σημαντική και για τους αθλητές που ασχολούνται με αθλήματα όπως πάλη, άρση βαρών, πολεμικές τέχνες, τα οποία χρησιμοποιούν την κατάταξη των αθλητών σύμφωνα με το βάρος. Πολλοί από τους αθλητές χρησιμοποιούν έντονες τεχνικές απώλειας (π.χ. σάουνα, στέρηση υγρών, διουρητικά, νηστεία), προκειμένου να αφυδατώσουν το σώμα τους και να φτάσουν σε ένα συγκεκριμένο βάρος για να διαγωνιστούν.

Η απόκτηση υγιούς σωματικού βάρους και η βέλτιστη σύσταση σώματος όμως, δεν θα πρέπει να περιορίζεται μόνο στους αθλητές ή στα παχύσαρκα άτομα, αλλά θα πρέπει να εισαχθούν και στα συστήματα υγείας

και εκπαίδευσης, έτσι ώστε να παρακολουθείται η ανάπτυξη των παιδιών και να αναγνωρίζονται τα παιδιά εκείνα, τα οποία βρίσκονται σε αυξημένο κίνδυνο λόγω υπερβολικού ή πολύ χαμηλού σωματικού λίπους (Heyward & Stolarczyk, 1996). Τέλος, η εκτίμηση της σύστασης σώματος συμβάλλει στον προσδιορισμό των διαφορών μεταξύ διαφορετικών εθνοκοτήτων και φυλών, όπως επίσης αποτελεί και γενικότερα ένα σημαντικό δείκτη νοσηρότητας και θνησιμότητας των πληθυσμών (Jebb, 1997).

1.3. Μοντέλα Σύστασης Σώματος

Οι περισσότεροι ορισμοί της σύστασης σώματος, δίνονται κατά τη διάρκεια μιας έρευνας σύμφωνα με τους σκοπούς που εξυπηρετούν (Martin και συν., 1991). Από διάφορες μελέτες λοιπόν, προέκυψαν διάφορα θεωρητικά μοντέλα εκτίμησης της σύστασης σώματος, τα οποία προσπαθούν να ποσοτικοποιήσουν τα κύρια συστατικά του σώματος, έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερα η μέτρηση και σύγκριση τους. Για τη μελέτη της σύστασης σώματος, το σωματικό βάρος χωρίζεται σε δύο ή και περισσότερα διαμερίσματα με τη χρήση στοιχειωδών, χημικών, ανατομικών ή υγρών μεταβολικών μοντέλων (Heyward & Stolarczyk, 1996).

1.3.1. Μοντέλο των δύο διαμερισμάτων

Τα τελευταία χρόνια, στις περισσότερες μελέτες χρησιμοποιείται το μοντέλο των δύο διαμερισμάτων (2-C), εξαιτίας της άμεσης σχέσης μεταξύ του επιπλέον σωματικού λίπους και του αυξανόμενου κινδύνου για καρδιαγγειακές παθήσεις. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο το σώμα χωρίζεται σε δύο μέρη: την άλιπη (FFM) και λιπώδη μάζα (FM), τα οποία έχουν αναλυθεί

παραπάνω. Εάν η μέτρηση του ενός εκ των δύο συστατικών ήταν εύκολη, τότε με την αφαίρεση του από το σωματικό βάρος θα υπολογιζόταν και το άλλο πολύ γρήγορα. Η άμεση μέτρηση όμως της FM, δεν είναι εύκολη και αποτελεί μέχρι σήμερα μία αξιοσημείωτη πρόκληση για τις περισσότερες τεχνικές σύστασης σώματος (Ellis, 2000).

Το μοντέλο αυτό όμως, για να εφαρμοστεί βασίζεται σε κάποιες υποθέσεις, όπως είναι το γεγονός ότι οι πυκνότητες του λίπους και των συστατικών της FFM (νερό, πρωτεΐνη, μέταλλα) είναι ίδιες για όλους τους ανθρώπους και ίσες με 0,901 g/cc και 1,10 g/cc αντίστοιχα για τους άνδρες και τις γυναίκες (Benhke και συν., 1942; Heyward & Stolarczyk, 1996).

Αυτές όμως οι υποθέσεις, καταστούν το μοντέλο ακατάλληλο για έρευνες οι οποίες περιλαμβάνουν άτομα με μεγάλο εύρος ηλικίας, διαφορετικό φύλο, εθνικότητες ή ασθένειες και για αυτόν τον λόγο προσπάθησαν να ανακαλύψουν νέα μοντέλα τα οποία δε θα επηρεάζονταν από την ηλικία, το φύλο ή την εθνικότητα. Μέσα από αυτές τις προσπάθειες δημιουργήθηκαν τα πολυδιαμερισματικά μοντέλα (3-, 4-, 5- διαμερίσματα) για την καλύτερη εκτίμηση και ερμηνεία της ανθρώπινης σύστασης σώματος (Ellis, 2000; Heymsfield και συν., 1996).

1.3.2. Μοντέλο των τριών διαμερισμάτων

Το μοντέλο των τριών διαμερισμάτων (3-C), δημιουργήθηκε για να ελαχιστοποιήσει τους περιορισμούς του μοντέλου 2-C. Στο μοντέλο αυτό περιλαμβάνεται και μέτρηση του ολικού νερού σώματος (TBW), χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αραίωσης ισοτόπων. Η FFM χωρίζεται σε δύο επιμέρους μέρη: νερό (TBW) και τα υπόλοιπα στερεά (πρωτεΐνες και μέταλλα)

(Fat Free Dry Mass: FFDM), όμως σε αυτό το μοντέλο θα πρέπει να γνωρίζει κανείς τις πυκνότητες του νερού, του λίπους και των σωματικών στερεών. Με επιτυχία χρησιμοποιήθηκε σε υγιείς ενήλικες και μεγάλης ηλικίας παιδιά, ενώ σε ασθενείς με μειωμένη σωματική πρωτεϊνική μάζα και / ή οστική πυκνότητα οι τιμές για τις πυκνότητες των στερεών συστατικών οδηγούν σε λανθασμένα αποτελέσματα (Ellis, 2000).

1.3.3. Μοντέλο των τεσσάρων διαμερισμάτων

Στο μοντέλο των τεσσάρων διαμερισμάτων (4-C) χωρίζονται τα στερεά του 3-C στα επιμέρους συστατικά: οστά (Bone: B) και ότι απομένει (Residual: R). Άρα χρειάζεται επιπλέον και η μέτρηση της πρωτεΐνης και των μετάλλων, όπου οι πυκνότητες της σωματικής πρωτεΐνης και των μετάλλων των οστών θεωρούνται ίσα με 1,34 kg/lit και 3,075 kg/lit (Snyder και συν., 1984). Η μέτρηση της μάζας όμως των δύο αυτών συστατικών, μπορεί να γίνει με δύο επιπρόσθετες μετρήσεις (ανάλυση ενεργοποίησης του νετρονίου (NAA) για τη σωματική πρωτεΐνη και την απορροφησιμετρία ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DXA) για τα μέταλλα των οστών). Αυτό όμως δημιουργεί δίλημμα, διότι με αυτές τις δύο μετρήσεις υπάρχει δυνατότητα να εκτιμηθεί άμεσα το σωματικό λίπος (Ellis, 2000).

Σε αυτό το μοντέλο υπάρχει το πλεονέκτημα ότι η πρωτεϊνική μάζα υπολογίζεται αναλογικά με τη μάζα των μετάλλων των οστών, ανεξάρτητα από ηλικία και φύλο. Επειδή όμως η εκτίμηση των μετάλλων των οστών δεν αλλάζει σημαντικά σε ένα άτομο ακόμα και μετά από μεγάλες περιόδους, μπορεί να υπολογιστούν πολύ εύκολα βραχυπρόθεσμες αλλαγές στη λιπώδη μάζα (Cohn και συν., 1983; Cohn και συν., 1984; Vaswani και συν.,

1983).Παρακάτω φαίνεται η σύγκριση των μοντέλων σύστασης σώματος των 2-, 3- και 4- διαμερισμάτων (Heymsfield και συν., 1996).

FM	FM	FM
FFM	TBW	TBW
	FFDM	B
		R
2-C	3-C	4-C

1.3.4. Πολυπαραγοντικό Μοντέλο

Το πολυπαραγοντικό μοντέλο αποτελεί το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα από τα πολυδιαμερισματικά μοντέλα. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, το σώμα αποτελείται από περισσότερα από 30 διάφορα συστατικά και οργανώνεται σε 5 ξεχωριστά επίπεδα αυξανόμενης περιπλοκότητας: ατομικό, μοριακό, κυτταρικό, επίπεδο ιστών και ολικό σώμα (Wang και συν., 1992).

Μια σημαντική παράμετρος στο πολυπαραγοντικό μοντέλο, είναι ότι σε κάθε επίπεδο το άθροισμα των συστατικών είναι ίδιο με το σωματικό βάρος, ενώ τα συστατικά σε υψηλότερα επίπεδα σώματος συνίστανται από συστατικά χαμηλότερων επιπέδων. Κλασσικό παράδειγμα, αποτελεί το γεγονός ότι ο λιπώδης ιστός ως συστατικό στο επίπεδο των ιστών περιλαμβάνει συστατικά όπως τα λιποκύτταρα σε κυτταρικό επίπεδο, τα λιπίδια σε μοριακό επίπεδο και τον άνθρακα σε ατομικό επίπεδο.

Μια ακόμη παράμετρος αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχει σταθερή κατάσταση σύστασης σώματος. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια σταθερών περιόδων, όπως η διατήρηση σωματικού βάρους και ομοιόσταση υγρών, υπάρχουν σχέσεις μεταξύ των συστατικών, οι οποίες είναι σταθερές ή σχεδόν σταθερές στο ίδιο άτομο, αλλά και μεταξύ διαφορετικών ατόμων. Επομένως, εάν ο ερευνητής έχει στη διάθεση του ένα μετρήσιμο συστατικό από το ένα επίπεδο, τότε χρησιμοποιώντας τη μεταξύ τους σχέση θα υπολογίσει ένα άγνωστο συστατικό από ένα άλλο επίπεδο. Για παράδειγμα ανάμεσα στο λίπος από το μοριακό επίπεδο και τον λιπώδη ιστό από το επίπεδο των ιστών, υπάρχει μια σχετικά σταθερή σχέση, τόσο στο ίδιο το άτομο, όσο και σε διαφορετικά άτομα (λίπος= $\sim 0,80$ *λιπώδη ιστό). Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται πολύ εύκολα οι μέθοδοι σύστασης σώματος, διότι σχετίζουν ένα μετρήσιμο χαρακτηριστικό με ένα μη μετρήσιμο. Παρακάτω φαίνεται η γενική προσέγγιση του πολυπαραγοντικού μοντέλου, όπως και οι εξισώσεις των επιπέδων σύστασης σώματος (Heymsfield και συν., 1996).

Γενική προσέγγιση του πολυπαραγοντικού μοντέλου

Ατομικό Επίπεδο	Μοριακό Επίπεδο	Κυτταρικό Επίπεδο	Επίπεδο Ιστών
N, P, Ca, K, Na, Cl	Λιπίδια	Κύτταρα	Λιπώδης ιστός
H			Σκελετικοί μύες
C	Νερό	Εξωκυττάριο υγρό	
O	Πρωτεΐνες		Εξωκυττάρια στερεά
	Υδατάνθρακες		
		Μέταλλα	

Εξισώσεις επιπέδων σύστασης σώματος

ΕΠΙΠΕΔΟ	ΕΞΙΣΩΣΗ
Ατομικό	A1. $\Sigma B = O + C + H + N + Ca + P + K + S + Na + Cl + Mg$
Μοριακό	M1. $\Sigma B = \Lambda + N + \Pi P + M M I + M O + Y \Delta$
	M2. $\Sigma B = \Lambda + N + \Pi P + M$
	M3. $\Sigma B = \Lambda + N + \Sigma$
	M4. $\Sigma B = \Lambda + M O + I M I$
	M5. $\Sigma B = \Lambda + M \Lambda M$
Κυτταρικό	K1. $\Sigma B = K M + E \Xi Y + E \Xi \Sigma$
	K2. $\Sigma B = \Lambda + K M \Sigma + E \Xi Y + E \Xi \Sigma$
Ιστών	I1. $\Sigma B = \Lambda I + \Sigma M + O \Sigma + A I$

<u>Συντομογραφίες:</u>	ΣΒ: Σωματικό Βάρος	ΥΔ: Υδατάνθρακες	N: Νερό
	ΜΜΙ: Μέταλλα Μαλακού Ιστού	ΜΟ: Μέταλλα Οστών	Μ: Μέταλλα
	ΙΜΙ: Ισχνός Μαλακός Ιστός	ΣΜ: Σκελετικοί Μύες	Σ: Στερεά
	ΜΛΜ: Μη Λιπώδης Μάζα	ΛΙ: Λιπώδης Ιστός	ΠΡ: Πρωτεΐνη
	ΚΜΣ: Κυτταρική Μάζα Σώματος	ΑΙ: Άλλοι Ιστοί	Λ: Λίπος
	ΕΞΣ: Εξωκυτάρια Στερεά	ΚΜ: Κυτταρική Μάζα	ΟΣ: Οστά
	ΕΞΥ: Εξωκυττάριο Υγρό		

1.4. Μέθοδοι Προσδιορισμού Σύστασης Σώματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την εκτίμηση λίπους ενός ατόμου, χρησιμοποιείται ευρέως ο ΔΜΣ και διάφοροι πίνακες ύψους – βάρους. Θα πρέπει όμως να προσέχει κανείς, ιδιαίτερα όταν τα χρησιμοποιεί και να γνωρίζει ότι αυτές οι εκτιμήσεις αποτελούν απλά χρήσιμες μεθόδους κατάταξης και προληπτικού ελέγχου για τον εντοπισμό και τη διάγνωση διαφόρων προβλημάτων υγείας και δεν είναι ενδεικτικοί της επιμέρους σύστασης σώματος. Αυτό ισχύει, διότι βασίζονται σε μετρήσεις που γίνονται σε μεγάλους πληθυσμούς ατόμων και πολλές φορές δεν έχουν ληφθεί υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως η ηλικία ή η εθνικότητα (Williams, 2003).

Για περισσότερο από έναν αιώνα, η ανθρωπομετρία χρησιμοποιούνταν για την εκτίμηση του σωματικού μεγέθους και των αναλογιών των σωματικών

τμημάτων , μετρώντας τις σωματικές περιφέρειες και τα σωματικά τμήματα. Ήδη από το 1915 το πάχος του υποδόριου λιπώδους ιστού υπολογίζονταν με τη μέτρηση των δερματοπτυχών (Skinfold Measurements: SKF) (Heyward & Stolarczyk, 1996).

Στις μέρες μας όμως, κυρίως λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας, υπάρχουν πολλές μέθοδοι αξιολόγησης σύστασης σώματος. Το λιπώδες και το μυϊκό τμήμα του ανθρωπίνου σώματος, είναι δυνατόν να υπολογιστεί με δύο κυρίως τρόπους:

1. Άμεσα με χημική ανάλυση
2. Έμμεσα με διάφορες διαδικασίες

Άμεσος υπολογισμός

Η μόνη άμεση, ακριβής μέθοδος ανάλυσης της σύστασης σώματος είναι η χημική αφαίρεση όλου του λίπους από τους ιστούς, κάτι που προφανώς δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ζώντες οργανισμούς. Τέτοιου είδους αναλύσεις είναι χρονοβόρες, επίπονες και έχουν μεγάλο κόστος, ενώ απαιτούν εξειδικευμένο εργαστηριακό εξοπλισμό. Επίσης δημιουργούνται πολλά ηθικά και νομικά προβλήματα, αφού χρησιμοποιούνται πειραματόζωα ή ακόμα και πτώματα (Williams, 2003).

Έμμεσος υπολογισμός

Εξαιτίας των λόγων που αναφέρονται παραπάνω, έχουν αναπτυχθεί μια ποικιλία έμμεσων μεθόδων για τον προσδιορισμό της σύστασης σώματος. Μερικές είναι σχετικά απλές, όπως η παρατήρηση από το μάτι ενός έμπειρου κριτή, ενώ άλλες είναι αρκετά πολύπλοκες και απαιτούν πολυδάπανο

εξοπλισμό. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του σωματικού λίπους, της ισχνής μάζας σώματος, της περιεκτικότητας των οστών σε ανόργανα συστατικά και του σωματικού νερού. Κάποιες τεχνικές χρησιμοποιούνται ειδικά για τη μέτρηση λίπους σε συγκεκριμένα μέρη του σώματος (Williams, 2003). Παρακάτω αναφέρονται οι κυριότερες έμμεσες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της σύστασης σώματος

1.4.1.Ανθρωπομετρία

Η ανθρωπομετρία έχει χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από έναν αιώνα στην εκτίμηση του σωματικού μεγέθους και των αναλογιών των σωματικών τμημάτων, μετρώντας τις περιφέρειες και τα σωματικά τμήματα. Από το 1915, το πάχος του υποδόριου λιπώδους ιστού υπολογίζεται με τη μέτρηση των δερματοπτυχών (SKF: Skinfold). Αργότερα, στις δεκαετίες του 1960 και 1970, οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη πολλών ανθρωπομετρικών εξισώσεων, για την εκτίμηση της συνολικής σωματικής πυκνότητας (Db: Body Density) και του σωματικού λίπους. Στις μέρες μας υπάρχουν πολύ καλές ανθρωπομετρικές εξισώσεις, οι οποίες χρησιμοποιούν είτε μέτρηση δερματικών πτυχών, είτε περιφερειών και διαμέτρων (σωματομετρία) για την εκτίμηση της σύστασης σώματος. Η προσέγγιση αυτή κρίνεται κατάλληλη στις κλινικές μετρήσεις, λόγω της εύκολης εφαρμογής τους σε μεγάλες ομάδες ανθρώπων, με μικρό κόστος (Heyward & Stolarczyk, 1996).

Σωματομετρία

Η σωματομετρία ή μέτρηση διαφόρων σημείων του σώματος, αποτελεί μια φθηνή και πρακτική μέθοδο προσδιορισμού της σωματικής σύστασης. Οι σωματικές μετρήσεις περιλαμβάνουν υπολογισμό περιφερειών, όπως είναι του τραχήλου και της κοιλιάς, και οστικές διαμέτρους, όπως είναι των ισχίων, των ώμων, του αγκώνα και του καρπού. Οι μετρήσεις των περιφερειών, αλλά και των οστικών διαμέτρων μπορούν να εισαχθούν σε διαφορετικούς μαθηματικούς τύπους για τον υπολογισμό του σωματικού λίπους και της ισχνης μάζας σώματος.

Οι μετρήσεις των διαμέτρων της κοιλιάς, των ισχίων, των γλουτών, των μηρών και άλλων τμημάτων του σώματος μπορεί να αποδειχθούν σημαντικοί δείκτες τοπικής κατανομής λίπους, και αποτελούν μια παράμετρο αξιολόγησης της ανατομικής κατανομής του λίπους σε όλο το σώμα. Η τοπική κατανομή του λίπους έχει συσχετισθεί με ποικίλα και σημαντικά προβλήματα υγείας, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Ένα μέτρο τοπικής κατανομής λίπους, αποτελεί το πηλίκο μέσης / ισχίων (WHR: waist-to-hip ratio), το οποίο είναι ο λόγος της περιφέρειας της κοιλιάς ή της μέσης (μετρούμενη με μια εύκαμπτη ταινία στο στενότερο σημείο της μέσης όπως φαίνεται από εμπρός), προς την περιφέρεια του γοφού ή των ισχίων (μετρούμενη στο φαρδύτερο σημείο, συμπεριλαμβανομένου και του γλουτού). Εάν ο λόγος WHR είναι 1,0 ή μεγαλύτερος για τους άνδρες και 0,8 ή μεγαλύτερο για τις γυναίκες είναι ενδεικτικό της κεντρικής ανδροειδής παχυσαρκίας και υπάρχει αυξημένος κίνδυνος για ασθένειες σχετιζόμενες με την παχυσαρκία. Αυτό σημαίνει ότι ο λόγος WHR, αποτελεί μια καλή τεχνική ελέγχου της τοπικής κατανομής λίπους, αλλά δεν προσφέρει κάποια ακριβή μέτρηση του εν τω βάθει περιτοναϊκού

λίπους, κάτι που επιτυγχάνεται με τη μαγνητική (MRI) και την αξονική (CT) τομογραφία. Επομένως, η σωματομετρία αποτελεί μια εύκολη και με μικρό κόστος μέτρηση, η ακρίβεια της οποίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιδεξιότητα και την εμπειρία του εξεταστή (Hammond, 2000; Williams, 2003).

Δερματικές πτυχές

Η τεχνική μέτρησης των δερματικών πτυχών, έχει σχεδιαστεί για να μετρά το υποδόριο λίπος και αυτή η μέτρηση βασίζεται στο μοντέλο των 2-C και στο γεγονός ότι το 50% από το συνολικό σωματικό λίπος είναι υποδόριο. Φαίνεται να είναι η πιο χρησιμοποιούμενη μέθοδος για μη ερευνητικούς σκοπούς. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων χρησιμοποιούνται, μέσω ενός κατάλληλου μαθηματικού τύπου, για τον υπολογισμό του εκατοστιαίου ποσοστού σωματικού λίπους, ο οποίος πρέπει να είναι ειδικός για το φύλο και την ηλικία του εξεταζομένου. Για την βελτίωση της ακριβείας της τεχνικής αυτής, οι μετρήσεις της δερματικής πτυχής, πρέπει να γίνονται σε πολλές διαφορετικές περιοχές του σώματος, διότι μια μόνο μέτρηση από συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτική του συνολικού αποθηκευμένου λίπους. Οι δερματοπτυχές που μετρώνται είναι η δερματοπτυχές δικέφαλου, τρικέφαλου και η υποπλάτια και υπερλαγόνια δερματοπτυχή. Επίσης, οι μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται μέσω ενός αξιόπιστου ειδικού δερματοπτυχόμετρου και από κάποιον έμπειρο εξεταστή. Για την μέτρηση του πάχους της δερματικής πτυχής εφαρμόζονται και υπερηχογραφικές τεχνικές, που όμως είναι πολύ ακριβότερες από αυτές που γίνονται με τα ειδικά δερματοπτυχόμετρα.

Στην πραγματικότητα, οι δερματοπτυχές αποτελούν μέτρηση του πάχους των πτυχών του δέρματος και του υποδόριου λιπώδους ιστού σε συγκεκριμένα μέρη του σώματος. Η χρησιμότητά τους είναι διπλή. Αρχικά παρέχουν μια σχετικά απλή και μη επεμβατική μέθοδο εκτίμησης του γενικού πάχους, διότι μερικές περιοχές προσεγγίζουν σε ικανοποιητικό βαθμό, τη συνολική σύσταση σώματος. Η δεύτερη χρησιμότητά τους είναι ο χαρακτηρισμός της κατανομής του υποδόριου λιπώδους ιστού, διότι μερικές φορές είναι ενδεικτικό για διάφορα προβλήματα υγείας.

Η μέθοδος αυτή εμπεριέχει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα λάθους κατά την μέτρηση, ιδιαίτερα εάν υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί εξεταστές ή διαφορετικοί τύποι δερματοπτυχομέτρων, εξάλλου οι τύποι που χρησιμοποιούνται βασίζονται κυρίως στη μέθοδο του υποβρύχιου ζυγίσματος. Για τους λόγους αυτούς, υπάρχει περίπου 3-4% σταθερό σφάλμα στη μέθοδο αυτή, κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό του σωματικού λίπους με αυτήν την τεχνική. Επίσης, χρειάζεται μεγάλη προσοχή και ακρίβεια στην επιλογή των συγκεκριμένων περιοχών που θα μετρηθούν. Ακόμα, η ακρίβεια μειώνεται καθώς αυξάνεται η παχυσαρκία, εξαιτίας της μεγάλης δυσκολίας μέτρησης των δερματοπτυχών. Γενικά, όσο πιο παχιά είναι μια δερματοπτυχή, τόσο πιο δύσκολο είναι να επιτευχθεί μια ακριβής μέτρηση. Δυσκολία στη μέτρηση δημιουργείται και όταν τα άτομα είναι πολύ ισχνά ή όταν υπάρχει υπερβολική ενυδάτωση, όπως στην περίπτωση οιδήματος, διότι είναι δύσκολη η συμπίεση των δερματοπτυχών. Παρόλα αυτά, αυτή η μέθοδος επισημαίνεται ως μια από τις καλύτερες πρακτικές μεθόδους υπολογισμού της σύστασης σώματος, ιδιαίτερα εάν οι εξεταστές είναι καλά εκπαιδευμένοι και είναι περιορισμένος ο αριθμός τους. Τα σημαντικότερα

πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το μικρό κόστος, η ευκολία της μέτρησης και της μεταφοράς του οργάνου, ενώ θα φανούν οι αλλαγές σε αυτή τη μέτρηση, εάν συμβούν, σε 3-4 εβδομάδες (Durnin και συν., 1997; Hammond, 2000; Harisson και συν., 1988; Williams, 2003).

1.4.2.Υπέρηχοι

Ουσιαστικά οι υπέρηχοι προσπάθησαν να αντικαταστήσουν την ανθρωπομετρία, κυρίως ελαχιστοποιώντας τους περιορισμούς της. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στον καλύτερο υπολογισμό δερματικών πτυχών σε παχύσαρκα άτομα. Ο υπολογισμός του σωματικού λίπους σε αυτή τη μέθοδο, γίνεται με τη βοήθεια υπερηχητικών κυμάτων υψηλής συχνότητας, τα οποία διέρχονται από τους ιστούς και απεικονίζουν το υποδόριο λίπος.

Τα υπερηχητικά κύματα, παράγονται από έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, ο οποίος βρίσκεται σε έναν ενεργό μετατροπέα. Τα κύματα αφού περάσουν από τους ιστούς, αντανakλώνται από τον μετατροπέα στο σημείο επαφής τους και προκαλούν πίεση, δημιουργώντας ηλεκτρικό σήμα. Ανάλογα με τη διάρκεια που απαιτείται για τη δημιουργία του ηλεκτρικού σήματος, υπολογίζεται το υποδόριο λίπος. Διατίθενται μεγάλα εργαστηριακά όργανα, αλλά και μικρότερος φορητός εξοπλισμός.

Η ακρίβεια της μεθόδου είναι περίπου η ίδια με τη μέτρηση των δερματικών πτυχών, με το πρόσθετο πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου συμπίεση κατά τη μέτρηση. Επιπρόσθετα, όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι κατάλληλο για παχύσαρκα άτομα και για μέτρηση σημείων που δε μπορούν να μετρηθούν με δερματοπτυχόμετρα, όπως στο ιερόν οστόν και κοντά στη σπονδυλική στήλη. Όσον αφορά τα μειονεκτήματα της μεθόδου σε

σύγκριση με τα δερματοπτυχόμετρα, είναι το μεγάλο κόστος και η μικρή δυνατότητα μεταφοράς του μηχανήματος, ακόμα και των μικρότερων εξοπλισμών που διατίθενται (Jensen, 1992; Roche και συν., 1996; Williams, 2003).

1.4.3. Πυκνομετρία

Ο όρος πυκνομετρία αναφέρεται στη διαδικασία εκτίμησης της σύστασης σώματος από τη σωματική πυκνότητα. Η πυκνότητα του ανθρωπίνου σώματος (Density of Human Body: D_b), ισούται με το πηλίκο της σωματικής μάζας (MA) προς τον όγκο (V):

$$D_b = MA/V$$

Η εγκυρότητα της εκτίμησης του σωματικού λίπους από τη σωματική πυκνότητα εξαρτάται από τις ακόλουθες υποθέσεις:

1. Οι ξεχωριστές πυκνότητες των συστατικών του σώματος είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους.
2. Οι πυκνότητες των συστατικών του σώματος είναι σχετικά σταθερές στα άτομα.
3. Τα ποσοστά των υπολοίπων συστατικών εκτός του λίπους είναι σχετικά σταθερά στα άτομα.
4. Το άτομο που μετράται διαφέρει από το σώμα αναφοράς μόνο στην ποσότητα του σωματικού λίπους ή του λιπώδους ιστού.

Από τις παραπάνω υποθέσεις, αντιλαμβάνεται κανείς ότι αυτού του είδους οι μετρήσεις δεν είναι τόσο ακριβής, διότι δεν μπορούν να ισχύουν για όλα τα άτομα. Στις μετρήσεις αυτές, αυξάνεται η εγκυρότητα εάν τα άτομα που εξετάζονται και συγκρίνονται είναι ίδιας ηλικιακής ομάδας, φύλο και

εθνικότητα. Η πυκνομετρία αρχικά στηρίζονταν στο μοντέλο των 2-C. Όμως, λόγω των περιορισμών του μοντέλου άρχισαν σταδιακά να χρησιμοποιούνται τα μοντέλα των 3-C και των 4-C. (Going, 1996).

Υδροπυκνομετρία (υποβρύχιο ζύγισμα)

Η τεχνική του υποβρυχίου ζυγίσματος στηρίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη και μέσω αυτής υπολογίζουμε τη σωματική πυκνότητα, το σωματικό λίπος και την ισχνή σωματική μάζα. Ουσιαστικά, απαιτεί από το άτομο να βυθιστεί ολόκληρο και να εκπνεύσει όλο τον αέρα με πολύ δύναμη, για να μετρηθεί η ποσότητα υγρού που εκτοπίσθηκε.

Αναλυτικότερα, η αρχή του Αρχιμήδη υποστηρίζει ότι όταν ένα σώμα βυθίζεται σε υγρό, δέχεται δύναμη άνωσης ανάλογη με την ποσότητα υγρού που εκτοπίζει κατά τη βύθισή του. Το λίπος έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό, σε αντίθεση με τα οστά και το μυϊκό ιστό που έχουν μεγαλύτερη. Επομένως, ο λιπώδης ιστός θα εκτοπίσει μεγαλύτερο όγκο νερού και η άνωση που θα ασκηθεί θα είναι μεγαλύτερη από ότι ο μυϊκός ή ο οστίτης ιστός ίδιου βάρους. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια εξισώσεων υπολογίζονται όσα αναφέρονται παραπάνω.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως πρότυπη μέθοδος στην ανάλυση της σύστασης σώματος, ιδιαίτερα σε ομογενείς πληθυσμούς, αν και έχει αρκετούς περιορισμούς. Οι περιορισμοί αφορούν κυρίως την εκτίμηση της σωματικής πυκνότητας και του υπολοίπου αέρα στους πνεύμονες (residual lung volume). Πιο συγκεκριμένα, μεγάλα σφάλματα δημιουργούνται σε ετερογενείς πληθυσμούς είτε ηλικίας, είτε φύλου, είτε εθνικότητας και σε πληθυσμούς με διαφορετικές πυκνότητες των συστατικών του σώματος όπως

συμβαίνουν κατά τη γήρανση, έντονη φυσική δραστηριότητα ή ασθένεια. Το τελικό ποσοστό λίπους επηρεάζεται ακόμα και όταν η θερμοκρασία του νερού μεταβληθεί κατά 1°C , ενώ ο υπόλοιπος αέρας που απομένει στους πνεύμονες μπορεί να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό, από άτομο σε άτομο. Επίσης είναι απαραίτητη η συνεργασία του υποκειμένου και καλό θα ήταν να μην χρησιμοποιείται σε μικρά παιδιά, εγκύους και ηλικιωμένους, λόγω ολικού βυθίσματος. Τέλος, αυτή η διαδικασία απαιτεί κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο, ειδικά εκπαιδευμένο χειριστή και είναι χρονοβόρα (Ellis, 2000; Ellis, 2001; Going, 1996; Williams, 2003).

Πληθυσμογραφία σώματος

Η πληθυσμογραφία έχει πολλά κοινά με την υδροπυκνομετρία, με την κύρια διαφορά ότι μετρά τον εκτοπιζόμενο αέρα. Η ομοιότητα της πληθυσμογραφίας με την υδροπυκνομετρία επιβεβαιώνεται και από πολλές μελέτες σε υγιείς ενήλικες και παιδιά (McCrory και συν., 1998: Lockner και συν., 2000). Τα προς εξέταση άτομα εισέρχονται στον πληθυσμογράφο, ο οποίος αποτελείται από δύο θαλάμους. Στον ένα θάλαμο κάθεται το άτομο, ενώ ο άλλος λειτουργεί ως αναφορά. Ο όγκος στα δύο δωμάτια ποικίλει ελάχιστα και η διαφορά της πίεσης του αέρα καταγράφεται. Η μέτρηση διαρκεί για λίγα λεπτά μόνο.

Το πιο εμφανές πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου έναντι της υδροπυκνομετρίας είναι ότι το άτομο δεν χρειάζεται να βυθιστεί ολόκληρο μέσα στο νερό. Επιπρόσθετα, το μηχάνημα είναι φορητό (διαθέσιμο στην αγορά είναι το προϊόν Bod Pod), εύκολο στη χρήση και δεν είναι χρονοβόρα διαδικασία. Εξαιτίας της μεγάλης ομοιότητας τους όμως, ισχύουν οι ίδιοι

περιορισμοί ως προς την εκτίμηση της σωματικής πυκνότητας. Επομένως, θα πρέπει να εξετάζονται ομογενείς πληθυσμοί ως προς ηλικία, φύλο, εθνικότητα, φυσική δραστηριότητα, ασθένεια. Επειδή η μέτρηση γίνεται εύκολα, μπορούν να γίνουν πολλαπλές μετρήσεις και έτσι αυξάνεται η αξιοπιστία ως προς τα τεχνικά σφάλματα. Αντιλαμβάνεται λοιπόν κανείς, ότι η χρήση της πληθυσμογραφίας θα μπορούσε να αντικαταστήσει την υδροπυκνομετρία ως τεχνική μέτρησης του σωματικού λίπους και της ισχνης μάζας σώματος (Ellis, 2000; Ellis, 2001; Going, 1996; Williams, 2003).

Εξέταση πρωτονίου με τη βοήθεια του μοντέλου 3-C

Αυτή η τεχνική, στηρίζεται κυρίως στην ανασύνθεση της περιγραφής της επιφάνειας του σώματος βάση των τριών διαστάσεων, χρησιμοποιώντας τη σάρωση του πρωτονίου. Αποτελεί μια νέα τεχνική και δεν έχουν εξετασθεί πολλά άτομα ακόμα.

Το κυριότερο πλεονέκτημά της σε σχέση με τις δύο παραπάνω μεθόδους είναι ότι το άτομο δε χρειάζεται να βυθιστεί ολόκληρο ή να παραμείνει κλεισμένος σε ένα πολύ μικρό δωμάτιο. Η διαδικασία διαρκεί μόνο 15" και υπάρχει δυνατότητα να καταγραφούν οι αλλαγές στο περίγραμμα του σώματος, το οποίο αντανakλά και τις αλλαγές στο υποδόριο λίπος. Η ακρίβεια (precision) για την εκτίμηση του όγκου του σώματος είναι περίπου 3%. Η αυθεντικότητα (accuracy) όμως της μεθόδου, είναι ακόμα άγνωστη. Η ακρίβεια καθορίζει την αξιοπιστία των ευρημάτων και της τεχνικής που τα παρέχει, ενώ η αυθεντικότητα υποδεικνύει ότι η τεχνική μετρά αυτό που υποτίθεται πως μετρά και μόνο αυτό. Αυτή η τεχνική, υπόσχεται πολλά και

έχει τη δυνατότητα να γίνει μέθοδος αναφοράς για τις μετρήσεις σύστασης σώματος (Ellis, 2001; Wells και συν., 2000).

1.4.4.Υδρομετρία – Τεχνικές διάλυσης

Το νερό αποτελεί ένα από τα κυριότερα συστατικά του ανθρώπινου οργανισμού. Περιλαμβάνει το 70-75% του σωματικού βάρους σε υγιείς ενήλικες, αλλά μπορεί να φτάσει και λιγότερο από 40% σε παχύσαρκα άτομα. Κατά τη διάρκεια της ζωής αυτό το ποσοστό μεταβάλλεται, όπως επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και η ύπαρξη ασθένειας. Σε υγιείς βρέφη το ποσοστό κυμαίνεται στο 80-83%, το οποίο μειώνεται γρήγορα μέχρι την ηλικία των 3-5 ετών όπου φτάνει το ποσοστό των ενηλίκων. Το νερό είναι απαραίτητο για τη ζωή, διότι αποτελεί το διαλυτικό μέσο για πολλές βιοχημικές αντιδράσεις και μέσο μεταφοράς για πολλά συστατικά του σώματος. Εξάλλου, είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι απειλείται ακόμα και η ζωή κάποιου με μια μείωση του σωματικού νερού κατά 15%, λόγω αφυδάτωσης. Επίσης, μια μικρή αλλαγή στο ολικό σωματικό νερό, δημιουργεί μετρήσιμες αλλαγές στο σωματικό βάρος και για αυτόν τον λόγο ο καθορισμός του ολικού σωματικού νερού είναι μεγάλης σημασίας για την εκτίμηση της σύστασης σώματος.

Το νερό αποτελεί σημαντικό συστατικό σε μοριακό, κυτταρικό και επίπεδο ιστών, όσον αφορά την περιγραφή των μοντέλων για την εκτίμηση της σύστασης σώματος. Στο μοριακό επίπεδο ειδικότερα, το νερό, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστατικά του σώματος, αποτελεί το μοναδικό περιεχόμενο του κυττάρου. Αυτή η ιδιότητα το καθιστά ικανό να χρησιμοποιείται στις τεχνικές διάλυσης, όπου υποστηρίζουν ότι ο όγκος του διαμερίσματος είναι ίσος με το λόγο της δόσης του ραδιενεργού ισοτόπου που χορηγήθηκε από

του στόματος ή ενδοφλέβια, προς τη συγκέντρωση του ισotόπου στο συγκεκριμένο διαμέρισμα του σώματος, μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα από τη στιγμή που χορηγήθηκε το ισotόπο. Στις τεχνικές διάλυσης συμβαίνει περίπου η ίδια διαδικασία με το να διαλύουμε σε ένα φλιτζάνι νερό, γνωστή ποσότητα βαφής. Η ένταση του χρώματος για δεδομένη ποσότητα βαφής που προστίθεται σε ένα φλιτζάνι, είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον όγκο του νερού στο φλιτζάνι. Επομένως, μετρώντας την ένταση του χρώματος ή τη συγκέντρωση της βαφής, καθορίζεται ο όγκος του νερού που εμπεριέχεται.

Σε αυτές τις μεθόδους, συλλέγονται δύο δείγματα (αίματος, σιέλου, ή ούρων). Το πρώτο λαμβάνεται ακριβώς πριν να χορηγηθεί το ραδιενεργό ισotόπο, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα επίπεδα του φυσικού υπόβαθρου, ενώ το δεύτερο λαμβάνεται μετά από επαρκή ώρα για να διεισδύσει το ραδιενεργό ισotόπο στο διαμέρισμα που επιθυμείται. Υπάρχει πιθανότητα να αποβληθεί ποσότητα του ραδιενεργού ισotόπου πριν επέλθει η στιγμή της εξισορρόπησης, για τον καλύτερο υπολογισμό της δόσης λοιπόν, λαμβάνεται ένα ακόμα δείγμα ούρων, σε ενδιάμεσο χρόνο των δύο προηγούμενων.

Στις τεχνικές διάλυσης ισχύουν τέσσερις βασικές υποθέσεις:

1. Το ραδιενεργό ισotόπο κατανέμεται μόνο στο διαμέρισμα που εξετάζεται.
2. Το ραδιενεργό ισotόπο κατανέμεται ισotόποσα σε αυτό το διαμέρισμα.
3. Το ραδιενεργό ισotόπο δεν μεταβολίζεται κατά τη διάρκεια της εξισορρόπησης.
4. Η εξισορρόπηση του ραδιενεργού ισotόπου, επιτυγχάνεται σχετικά γρήγορα.

Εάν κάποια από τις παραπάνω υποθέσεις παραβιαστεί, τότε ο λόγος της χορηγούμενης δόσης ως προς τη συγκέντρωση του υγρού θα πρέπει να προσαρμοσθεί ανάλογα. Με αυτήν τη διαδικασία μετράται το ολικό σωματικό νερό, το ενδοκυττάριο νερό και το εξωκυττάριο νερό. Εξάλλου το ολικό σωματικό νερό ισούται με το άθροισμα του ενδοκυττάριου και του εξωκυττάριου νερού (Ellis, 2000; Schoeller, 1996).

Ολικό σωματικό νερό (TBW: Total Body Water)

Το TBW μπορεί να υπολογισθεί με διάφορες μεθόδους. Η επιλογή της μεθόδου, εξαρτάται κάθε φορά από την καταλληλότητα της σε σχέση με αυτό που επιθυμείται να μετρηθεί, αλλά και από τα διαθέσιμα όργανα και υλικά. Για τον υπολογισμό του TBW, ως διαλύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν το δευτέριο, το τρίτιο, ή το οξυγόνο-18, ενώ ως μέθοδοι ανάλυσης χρησιμοποιείται η υπέρυθη απορρόφηση, η αέρια χρωματογραφία και η μαζική φασματομετρία για το δευτέριο, η ραδιενεργή β-μέτρηση του τριτίου και η μαζική φασματογραφία για το ^{18}O . Το τρίτιο, αρχικά, αντικατέστησε το δευτέριο, λόγω της ευκολότερης διαθεσιμότητας του ως διάλυμα, αλλά και ως μεθόδων ανάλυσης του. Αργότερα όμως, διαπιστώθηκε ότι η χρήση του τριτίου εμπεριείχε μικρή ποσότητα ακτινοβολίας, η οποία ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνη για τα παιδιά και για γυναίκες κατά την κύηση ή τη γαλουχία. Σε σχέση με το ^{18}O , αν και ο υπολογισμός του TBW γίνεται με μεγάλη ακρίβεια, αναλύεται μόνο με μαζική φασματομετρία και το διάλυμα του επισημασμένου νερού με ^{18}O κοστίζει πάρα πολύ, τα οποία το καθιστούν απαγορευτικό για τη χρήση του σε έρευνες.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου, είναι το κόστος των διαλυμάτων και των αναλύσεων, όπως επίσης και το γεγονός ότι η ανάλυση αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία. Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο ανάλυσης και από το ισότοπο που θα επιλεγεί για κάθε περίπτωση. Γενικά, οι μαζικές φασματομετρικές αναλύσεις είναι οι πιο ακριβείς. Οι αναλύσεις αυτές χρησιμοποιούνται με τη χρήση του δευτερίου ή του ^{18}O , όπου η ακρίβεια φτάνει το 1% και το 2% αντίστοιχα. Η αυθεντικότητα είναι περίπου στο 1% και οφείλεται κυρίως στην ανικανότητα να μετρηθούν τα μη υδατικά μέρη που ανταλλάσσονται. Επιπλέον μείωση της αυθεντικότητας κατά 0,5%, δημιουργείται λόγω της μη σταθερής ενυδάτωσης των υγίων ατόμων. Για την καλύτερευση της ακρίβειας και της αυθεντικότητας, πρέπει να προσέχει κανείς κάθε λεπτομέρεια, όπως είναι η προετοιμασία των ατόμων και η αντιπροσωπευτικότητά τους, η δόση του διαλύματος και η καταλληλότητα της μεθόδου ανάλυσης, έτσι ώστε το συστηματικό και τυχαίο σφάλμα να είναι λιγότερο από 0,5%. Συμπερασματικά λοιπόν, το TBW ως μέθοδος αξιολόγησης σύστασης σώματος, με μεγάλη προσοχή σε όλες τις λεπτομέρειες έχει ακρίβεια και αυθεντικότητα περίπου 1-2% (Ellis, 2000; Ellis, 2001; Schoeller, 1996; Smith και συν., 2002).

Εξωκυττάριο νερό (ECW: Extracellular Water)

Το ECW μπορεί να υπολογισθεί απευθείας με τη βοήθεια τεχνικών διάλυσης, όπως και στον υπολογισμό του TBW. Η κυριότερη διαφορά τους είναι ότι εξετάζεται κυρίως το πλάσμα. Για τον υπολογισμό του ECW έχουν προταθεί πολλά ραδιενεργά ισότοπα, όπως βρωμίδιο, χλωρίδιο, θειοκυανικό, άλας θειικού οξέος, θειοθειικό, ινουλίνη, σουκρόζη και μαννιτόλη. Καθένα από

αυτά τα ισότοπα συμπεριφέρονται διαφορετικά στις υποθέσεις. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι δισακχαρίτες δεν μπορούν να διεισδύσουν στο πυκνό συνδετικό ιστό και στο διακυττάριο νερό, ενώ το άλας θειικού οξέος και το θειοθειικό δεν μπορούν να διεισδύσουν στο διακυττάριο νερό. Το βρωμίδιο και το ισότοπο του χλωριδίου είναι τα πιο αποτελεσματικά ως προς τον υπολογισμό του ECW. Τελικά όμως το μη ραδιενεργό ισότοπο του βρώμιου χρησιμοποιείται πιο συχνά, το οποίο δίνεται από το στόμα, συλλέγοντας δεύτερο δείγμα πλάσματος περίπου 3-4 ώρες αργότερα, παρόλο που η εξισορρόπηση δεν έχει ολοκληρωθεί. Για τη μέτρηση του βρωμιδίου χρησιμοποιούνται διάφορες μεθόδους ανάλυσης όπως με ακτίνες φθορισμού, φασματοφωτομετρία, ή τεχνικές μαζικών φασματομετρήσεων. Η μέθοδος όμως που τελικά επικράτησε, ήταν η υψηλής πίεσης υγρή χρωματογραφία.

Αυτή η τεχνική δεν έχει τόσο καλή ακρίβεια, όσο η μέτρηση του TBW και το τυχαίο σφάλμα είναι δύο φορές μεγαλύτερο. Επίσης, η ακρίβεια της τεχνικής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δόση του ισοτόπου και από τη μέθοδο ανάλυσης. Η ακρίβεια μπορεί να φτάσει το 1%, εάν οι ποσότητες του ισοτόπου είναι κατάλληλα επιλεγμένες για συγκεκριμένες μεθόδους ανάλυσης. Η αυθεντικότητα της μεθόδου είναι άγνωστη ακόμα, διότι οι άμεσες χημικοί μέθοδοι δεν είναι κατάλληλες να καθορίσουν το μέτρο σύγκρισης για αυτά τα συστατικά του σώματος. Μόνο σε υγιής ενήλικες και με τη χρήση ισοτόπου βρώμιου είναι πιθανόν η αυθεντικότητα στο 1%, ενώ χρειάζονται σημαντικές διορθώσεις (15%) όταν υπάρχουν άνισες συγκεντρώσεις βρωμιδίου για τον προσδιορισμό εξωκυττάριας υγρών (Ellis, 2000; Schoeller, 1996; Thomas και συν., 1991).

Ενδοκυττάριο νερό (ICW: Intracellular Water)

Η μέτρηση του ICW, μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ραδιενεργό ισότοπο καλίου (⁴²K). Αυτό το ισότοπο όμως έχει πολύ μικρό χρόνο ημίσειας ζωής ($t_{1/2}=12,4\text{ h}$) και δεν είναι πλέον εύκολα διαθέσιμο στο εμπόριο. Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη της άμεσης in vivo μέτρησης του ολικού καλίου σώματος, οδήγησε σε επιπλέον μείωση χρησιμοποίησης του ⁴²K. Επομένως, στις ημέρες μας, δεν χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος για τον προσδιορισμό του ICW. Η πιο διαδεδομένη πλέον τεχνική, είναι η εκτίμηση του ICW με χορήγηση από του στόματος D₂O και Br ταυτόχρονα, όπου υπολογίζονται τα TBW και ECW αντίστοιχα. Εν συνεχεία το ICW υπολογίζεται ως η διαφορά τους, (ICW=TBW-ECW).

Αυτή η μέθοδος όμως, έχει σημαντικά λάθη μέτρησης. Υπάρχει σφάλμα $\pm 1\text{ lt}$ για το TBW και $\pm 1,5\text{ lt}$ για το ECW, άρα 2-3 lt για το ICW, ενώ η ακρίβεια του είναι στο 2,5% περίπου. Η αυθεντικότητα δεν έχει προσδιοριστεί ακόμα. Η απευθείας μέτρηση του ολικού καλίου σώματος πετυχαίνει μικρότερα σφάλματα και ο μόνος λόγος που χρησιμοποιείται ο προσδιορισμός του ICW από τη διαφορά των TBW και ECW είναι για τον υπολογισμό του μέσου ICW για πληθυσμό υγιών ατόμων και όχι για μεμονωμένο άτομο (Ellis, 2000; Schoeller, 1996).

1.4.5.Μέτρηση ολικού σώματος και ανάλυση ενεργοποίησης νετρονίου

Η χημική ανάλυση των υγρών και των ιστών του σώματος, για την χρησιμοποίησή τους στην εκτίμηση της σύστασης σώματος, άρχισε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Γρήγορα ανακαλύφθηκε, ότι στον ανθρώπινο οργανισμό

υπάρχει μια φυσιολογική χημική κατάσταση, η οποία μπορεί να μεταβληθεί εάν υπάρξει κάποια ασθένεια, κακή θρέψη ή κατανάλωση παραπάνω τροφής. Στις μέρες μας, με την εμφάνιση της πυρηνικής χημείας, αναπτύχθηκαν πολυάριθμες μέθοδοι για χημική ανάλυση ανθρώπινων οργανισμών. Παρακάτω αναλύονται οι μέθοδοι για μέτρηση ολικού σωματικού καλίου και η ανάλυση ενεργοποίησης νετρονίου (Ellis, 1996)

Ολικό σωματικό κάλιο (TBK: Total Body Pottasium)

Οι μετρητές ολικού σώματος, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για να ελέγχονται οι εργάτες που κατασκεύαζαν όπλα και συμμετείχαν σε πυρηνικές έρευνες, εάν έχουν μολυνθεί από ραδιενέργεια. Από αυτόν τον έλεγχο, παρατηρήθηκε για όλους τους εργάτες ότι υπάρχει μια σταθερή κορυφή (χαρακτηριστικό για το ^{40}K), ανεξαρτήτως από την ένταση της έκθεσης τους. Αργότερα, συσχετίστηκε ουσιαστικά το ^{40}K με το FFM, διότι το ^{40}K είναι φυσικό, ραδιενεργό ισότοπο, με ποσοστό 0,012% στο ενδοκυττάριο νερό, χωρίς να υπάρχει στα αποθηκευμένα τριγλυκερίδια. Το κάλιο διαχωρίζεται σε τρία ισότοπα, εκτός από το ^{40}K , υπάρχει το ^{39}K σε ποσοστό 93,1% και το ^{41}K , σε ποσοστό 6,9%. Εν συνεχεία, από την εξωτερική μέτρηση της ακτινοβολίας γ που εκπέμπεται από το ^{40}K υπολογίζεται η μη λιπώδης μάζα.

Για την ακριβέστερη μέτρηση του ^{40}K , πρέπει να ισχύουν τρεις υποθέσεις:

1. Οι ανιχνευτές των ακτινών γ , θα πρέπει να έχουν καλή ανάλυση ενέργειας και υψηλή αποτελεσματικότητα.
2. Γύρω από το άτομο που μετράται και τον ανιχνευτή, θα πρέπει να υπάρχει επαρκή προφύλαξη, για να μην υπάρχουν απώλειες στο περιβάλλον.

3. Θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλο σύστημα δεδομένων για την ταυτοποίηση των 1,46 MeV ακτίνας γ του ^{40}K .

Η διάρκεια της μέτρησης ποικίλει από μερικά λεπτά έως μια ώρα. Αυτό εξαρτάται από το ποσό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται στο περιβάλλον, την αποτελεσματικότητα της μέτρησης και το μέγεθος του σώματος. Το άτομο που μετράται, ξαπλώνει ανάσκελα σε ένα κρεβάτι, ανάμεσα σε δύο πλάκες με ανιχνευτές NaI και βρίσκεται μέσα σε ένα δωμάτιο που έχει τοίχους με 20 cm ατσάλι και περιβάλλονται από 1 m τσιμέντο, έτσι ώστε να μην υπάρχει απώλεια των ακτινών γ .

Η μέτρηση του TBK έχει υψηλή ακρίβεια, η οποία ποικίλει από 2-5% για τους ενήλικες, ενώ για τα μικρά παιδιά και νεογνά η ακρίβεια της μέτρησης δεν μπορεί να υπολογιστεί, διότι το TBK είναι πολύ λίγο. Όσον αφορά την αυθεντικότητά του, δεν έχει πλήρως προσδιοριστεί. Από κάποιες προσπάθειες υπολογισμού της σε σύγκριση με χημικές αναλύσεις, υπολογίσθηκε στο 1-5% για τους ενήλικες, και μειώνεται ακόμα περισσότερο για παιδιά και βρέφη. Επίσης, η μέτρηση του TBK, είναι ακατάλληλη για πολύ παχύσαρκα άτομα και άτομα που βρίσκονται σε κακή θρέψη, εξαιτίας των σημαντικών μεταβολών των ενδοκυττάρων και εξωκυττάρων υγρών. Τέλος, σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το μεγάλο κόστος του οργάνου, η απαραίτητη ύπαρξη ειδικού δωματίου και η ανάγκη για συνεχή βαθμονόμηση του οργάνου (Dumler & Kilates, 2000; Ellis, 1996; Ellis, 2000).

Ανάλυση ενεργοποίησης νετρονίου (NAA: Neutron Activation Analysis)

Αυτού του είδους οι μετρήσεις, στην πραγματικότητα, πραγματοποιούν άμεση στοιχειακή ανάλυση. Αυτό σημαίνει, ότι ενώ οι άλλες μέθοδοι όπως τα CT, MRI, DXA, BIA, BIS παρέχουν πληροφορίες για την πυκνότητα και τον όγκο του ιστού, το NAA αναλύει τα χημικά συστατικά. Επομένως, προς το παρόν, αποτελεί τη μόνη διαθέσιμη τεχνική για τη μέτρηση της πολυσύνθετης σύστασης του ανθρώπου. Κατά τη μέτρηση, ακτίνες ουδετερονίων διέρχονται από τους ιστούς, επιτρέποντας την ανάλυση του αζώτου και άλλων μεταλλικών στοιχείων του σώματος για τον προσδιορισμό της ισχνης μάζας σώματος.

Πιο αναλυτικά, όταν ένα άτομο προσλαμβάνει ένα νετρόνιο, το άτομο μετατρέπεται σε νέα πυρηνική κατάσταση του ίδιου χημικού στοιχείου. Αυτό το νέο άτομο είτε μένει σταθερό, είτε εκπέμπει ακτίνες, οι οποίες απελευθερώνονται πολύ γρήγορα. Επομένως, όταν ένα άτομο εκτεθεί σε νετρόνια, θα υπάρξει και αμέσως εκπομπή ακτινών γ αλλά και αργότερα, οι οποίες θα ανιχνευθούν στο σώμα χρησιμοποιώντας ειδικούς ανιχνευτές, όπως αυτοί για το ^{40}K . Τα δυο στοιχεία που μετρώνται συχνότερα με αυτήν την μέθοδο, είναι το ολικό σωματικό ασβέστιο (TBCa: Total Body Calcium), χρησιμοποιώντας την NAA που καθυστερεί και το ολικό σωματικό άζωτο (TBN: Total Body Nitrogen), χρησιμοποιώντας την άμεση NAA.

Η αυθεντικότητα της μεθόδου υπολογίζεται ως <5%, ενώ είναι πολύ αξιόπιστη και ακριβής. Συγκεκριμένα, η ακρίβεια και η αυθεντικότητα για το TBCa είναι 1-2% και για το TBN 3-4%, όμως η ακτινοβολία που δέχεται κανείς από το TBN είναι 10 φορές μικρότερη από αυτή που δέχεται από το TBCa.

Παρόλη την ακρίβεια και αυθεντικότητα της μεθόδου, υπάρχουν δυσκολίες ως προς την τεχνική, το κόστος του εξοπλισμού και την επικινδυνότητα λόγω της εκπομπής της ακτινοβολίας, η οποία αν και μικρή δε θεωρείται αμελητέα (Ellis, 1996; Ellis, 2000).

1.4.6.Βιοηλεκτρική αντίσταση και αγωγιμότητα

Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό οι μέθοδοι βιοηλεκτρικής αντίστασης και αγωγιμότητας. Αυτές οι μέθοδοι, χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε έρευνες είτε ως συμπληρωματικές της ανθρωπομετρίας, είτε για την αντικατάστασή της. Έχουν δημιουργηθεί διάφορες προσεγγίσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν δίπολα ή τετράπολα ηλεκτρόδια, μία ή περισσότερες συχνότητες, μέθοδοι ολικού σώματος ή τμημάτων σώματος (Baumgartner, 1996).

Ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA: Bioelectrical Impedance Analysis)

Η μέθοδος BIA αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1960 και από τότε χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε κλινικές εφαρμογές. Στην πραγματικότητα, μετρά την αντίσταση του σώματος στο ηλεκτρικό ρεύμα για εκτίμηση του ποσού του νερού στο σώμα, της ισχνής μάζας σώματος και του σωματικού λίπους. Πιο συγκεκριμένα, ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής έντασης διέρχεται μέσα από το σώμα του ατόμου και η εμπέδηση (Z), δηλαδή η αντίσταση στο ρεύμα, μετράται από έναν αναλυτή BIA. Οι υδάτινοι ιστοί του σώματος, λόγω των ηλεκτρολυτών που περιέχουν, είναι οι κύριοι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ το λίπος και τα οστά έχουν μικρή αγωγιμότητα. Άρα, όταν

κάποιος έχει μεγάλο όγκο σε TBW, υπάρχει μικρότερη αντίσταση και το ρεύμα περνάει πιο εύκολα, το ίδιο ισχύει και για τη FFM, η οποία περιέχει πολύ νερό (73%). Αντιθέτως, όσον αφορά το BF, περιέχει μικρή ποσότητα νερού και είναι κακός αγωγός του ρεύματος, δηλαδή θα έχει μεγαλύτερη αντίσταση. Επομένως, όταν κάποιος έχει μεγάλα FFM και TBW και μικρό BF, θα έχει μικρότερη αντίσταση σε σχέση με ένα άτομο που θα έχει μικρά FFM και TBW, ενώ το BF θα είναι μεγάλο.

Η μέτρηση με τη μέθοδο BIA, γίνεται με τη βοήθεια δύο ζευγαριών ηλεκτροδίων, τα οποία τοποθετούνται στον καρπό και στον αστράγαλο. Για τη μέτρηση με μία συχνότητα (των 50 kHz), η οποία είναι η συχνότερη, ένα ασθενές εναλλασσόμενο ρεύμα διαπερνά το σώμα, μετράται η απότομη πτώση της τάσης και υπολογίζεται η αντίσταση, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα παραμένει σταθερό. Για τον υπολογισμό της έντασης, ισχύουν δύο υποθέσεις και δύο αρχές, οι οποίες είναι οι εξής:

1. Το ανθρώπινο σώμα σχηματίζει έναν τέλειο κύλινδρο με σταθερά το μήκος και την εγκάρσια τομή.
2. Υποθέτοντας ότι το σώμα είναι ένας τέλειος κύλινδρος, σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, η εμπέδηση είναι αμέσως ανάλογη του μήκους του αγωγού (L : Length) και αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου (A : Cross-sectional Area), $Z = \rho (L / A)$, όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση των σωματικών ιστών και θεωρείται σταθερή για όλους τους ιστούς.
3. Οι ιστοί λειτουργούν ως αγωγοί ή ως μονωτές και η ροή του ρεύματος μέσα από το σώμα θα ακολουθήσει την οδό με τη μικρότερη αντίσταση.
4. Η εμπέδηση είναι μια λειτουργία αντίστασης (R : Resistance) και επαγωγικής αντίστασης (X_c : Reactance), όπου $Z = \sqrt{(R^2 + X_c^2)}$

Με τον συνδυασμό των υποθέσεων και των αρχών, προκύπτει ότι ο δείκτης εμπέδησης (Ht^2 / R) είναι αναλογικός του όγκου του TBW.

Θα πρέπει να αναφερθεί ακόμα, ότι υπάρχουν και δύο άλλες συσκευές BIA, οι οποίες όμως μετρούν την R και την X_c μόνο για το πάνω μέρος του σώματος ή μόνο για το κάτω. Σε αυτές τις μετρήσεις η ακρίβεια είναι καλή, αλλά η αυθεντικότητα αμφισβητείται. Υπάρχει επίσης το ερωτηματικό σε αυτές τις μεθόδους, κατά πόσο μέρος του σώματος είναι αντιπροσωπευτικό και για ολόκληρο το σώμα.

Ο αναλυτής BIA δίνει άμεσα τις τιμές R και X_c , οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στις εξισώσεις για τον υπολογισμό της FFM, όπως θα χρησιμοποιηθούν το Ht^2 είτε ξεχωριστά από το R είτε σε συνδυασμό με αυτόν ως δείκτης εμπέδησης που παραμένει ισχυρός παράγοντας πρόβλεψης του FFM, και το BW για την εξάλειψη των διαφοροποιήσεων όσον αφορά το περίπλοκο γεωμετρικό σχήμα του σώματος. Συχνά, η X_c δεν συμπεριλαμβάνεται στις εξισώσεις BIA, παρόλο που αντανακλά αλλαγές στα σωματικά υγρά και στην ενυδάτωση του συνδετικού ιστού ή της άλιπης σωματικής μάζας, κυρίως σε αλλαγές που συμβαίνουν σε περίπτωση αυξημένης λιπώδους μάζας. Εν συνεχεία θα υπολογιστεί η FM από την εξίσωση $FM = BW - FFM$ και διαιρώντας την με το σωματικό βάρος θα υπολογιστεί το % BF, όπου $\% BF = (FM / BW) * 100$. Οι εξισώσεις BIA βασίζονται είτε σε ειδικούς πληθυσμούς, είτε σε πιο γενικευμένα μοντέλα. Οι πρώτες εξισώσεις, έχουν δημιουργηθεί για να αναιρέσουν διαφοροποιήσεις που οφείλονται στην ηλικία, την εθνικότητα, το φύλο, το επίπεδο της φυσικής δραστηριότητας και του σωματικού λίπους. Με αυτόν τον τρόπο, οι εξισώσεις είναι περισσότερο έγκυρες και εφαρμόσιμες για τα άτομα που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Οι

εξισώσεις που βασίζονται σε γενικευμένα μοντέλα περιλαμβάνουν ως μεταβλητές παράγοντες όπως η ηλικία και το φύλο και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για ετερογενείς πληθυσμούς. Πολλές φορές η συσκευή BIA, περιέχει συμπληρωματικό λογισμικό για τον άμεσο υπολογισμό της FFM, επιλέγοντας εξίσωση βάση ηλικίας, φύλου, εθνικότητας, φυσικής δραστηριότητας και σωματικού λίπους. Με αυτόν τον τρόπο κερδίζεται χρόνος, κόπος και αποτρέπονται τα λάθη, όμως γενικότερα δε συνίσταται, εκτός εάν γνωρίζουμε τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται και μπορούν να γενικευτούν και υπάρχει εγγύηση από τον κατασκευαστή για την ακρίβεια και την εγκυρότητα.

Η ακρίβεια της μεθόδου επηρεάζεται από τα χρησιμοποιούμενα όργανα, υποκειμενικούς παράγοντες, τεχνικές δεξιότητες, περιβαλλοντικούς παράγοντες και την επιλεγμένη εξίσωση και θα πρέπει να λαμβάνεται αυτό υπόψη. Πιο συγκεκριμένα, τα όργανα τα οποία υπάρχουν στο εμπόριο είναι μίας ή περισσότερων συχνοτήτων, όμως αυτό το σφάλμα ελέγχεται εύκολα, εάν χρησιμοποιηθεί το ίδιο όργανο σε κάθε πελάτη ή σε κάθε έρευνα. Όσον αφορά τα σφάλματα των τεχνικών δεξιοτήτων, μπορούν να εξαλειφθούν όταν ακολουθείται πιστά η διαδικασία της μέτρησης ως προς τη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων και του πελάτη. Σημαντικοί είναι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, διότι οι χαμηλές θερμοκρασίες ($\sim 14^{\circ}\text{C}$) προκαλούν πτώση της θερμοκρασίας του σώματος και αύξηση της R ($35\ \Omega$) και μείωση της FFM ($\sim 2,2\ \text{kg}$), όμως μειώνονται εάν το άτομο ξαπλώσει σε μονωτική επιφάνεια και σε φυσιολογική θερμοκρασία δωματίου (35°C). Επίσης, διαλέγονται με προσοχή οι εξισώσεις βάση της ηλικίας, του φύλου, της εθνικότητας, της φυσικής δραστηριότητας και του λίπους και τέλος θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι υποκειμενικοί παράγοντες, οι οποίοι είναι και οι δυσκολότεροι να ελεγχθούν και μπορεί να

υπάρξει σφάλμα από 3,1% έως 3,9%. Αναλυτικότερα, υπάρχει υπερεκτίμηση της FFM κατά ~1,5 kg, 2-4 ώρες μετά από ένα γεύμα ή μετά το τρέξιμο ή ποδηλασία σε μέτριες εντάσεις για 90-120 λεπτά. Μικρές αλλαγές συμβαίνουν στην R, όταν η μέτρηση γίνει 1 ώρα μετά το πρωινό γεύμα ή την πόση 700 μλ υγρών, ενώ αυξάνεται σημαντικά και παραμένει υψηλή 4-90 λεπτά μετά την πόση 1 νερού. Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά είναι η έμμηνος ρύση στις γυναίκες, εξαιτίας της διαφοροποίησης των ενδοκυττάριων υγρών, της TBW, του λόγου εξωκυττάριων προς ενδοκυττάριων υγρών και του BW. Οι αλλαγές των R και Z είναι ασήμαντες όταν το BW παραμένει σχετικά σταθερό (αλλαγές < 0,2 kg), ενώ υπάρχει μεγάλη αύξηση (~1,5 kg) στο TBW, όταν υπάρχει σχετικά μεγάλη αύξηση βάρους (2 - 4 kg), κατά την έμμηνο ρύση. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να έχουν ενημερωθεί τα άτομα να μην έχουν καταναλώσει γεύμα ή υγρά και να μην έχουν αθληθεί (ειδικά τρέξιμο και ποδηλασία) πριν τη μέτρηση, όπως επίσης να μην μετρώνται γυναίκες κατά τη διάρκεια της έμμηνου ρύσεως, ιδιαιτέρως εάν υπάρχει σημαντική αύξηση βάρους. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στα άτομα με προβληματικά αποθέματα νερού, όπως είναι οι αθλητές και τα παχύσαρκα άτομα, διότι έχει βρεθεί ότι υποεκτιμάται η FFM στους αθλητές και υπερεκτιμάται στα παχύσαρκα άτομα.

Παρόλο που υπάρχουν πολλές πηγές σφαλμάτων σε αυτήν τη μέθοδο, η ακρίβεια της είναι πολύ υψηλή, περίπου 1 - 2%, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται όσα αναφέρονται παραπάνω. Επιπρόσθετα, η μέτρηση είναι εύκολη, γρήγορη, δε χρειάζεται ιδιαίτερη εκπαίδευση και το κόστος του μηχανήματος και της συντήρησής του είναι σχετικά μικρό, τα οποία καθιστούν τη μέθοδο ως πολύ χρήσιμη και ευρέως χρησιμοποιούμενη, με μεγάλη

προσοχή σε αθλητές και παχύσαρκα άτομα (Baumgartner 1996; Ellis, 2000; Ellis, 2001; Heyward & Stolarczyk, 1996; Williams, 2003)

Φασματοσκοπία βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIS: Bioelectrical Impedance Spectroscopy)

Η BIS αποτελεί μια πιο πολύπλοκη μέθοδο, η οποία βασίζεται στην τροποποίηση και ανάμιξη του θεωρητικού μοντέλου με το γεγονός ότι όλο το σώμα, χωρίζεται σε κυλίνδρους, ο καθένας από τους οποίους αντιπροσωπεύει τα διάφορα τμήματα του σώματος. Η αντίσταση και η επαγωγική αντίσταση μπορούν να υπολογιστούν σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, ενώ οι εξισώσεις που εκτιμούν τους όγκους του ICW (V_{ICW}) και του ECW (V_{ECW}) είναι οι εξής:

$$V_{ECW} = k_{ECW} / (Ht^2 * Wt^{0,5} / R_e)^{2/3} \text{ και}$$

$$(1 + V_{ICW} / V_{ECW})^{5/2} = [(R_e + R_i) / R_i] * [1 + k_p * V_{ICW} / V_{ECW}]$$

όπου το Ht είναι το ύψος, το Wt είναι το βάρος και τα R είναι οι τιμές των αντιστάσεων για τα ενδοκυττάρια και εξωκυττάρια μέρη. Το k_{ECW} και το k_p είναι σταθερές, οι οποίες ορίζονται βάσει των ενδοκυττάρων και εξωκυττάρων ιστών, της σωματικής πυκνότητας και του σωματικού όγκου.

Για τη BIS, στο εμπόριο υπάρχει ένα μοντέλο το Xitron, San Diego, CA. Η BIS, αρχικά δημιουργήθηκε για να ξεπεράσει την αβεβαιότητα που υπήρχε για τη BIA, σχετικά με το ποσό του ρεύματος που διαπερνούσε τα κύτταρα. Εξάλλου πέρα από το κόστος του μηχανήματος, το οποίο είναι λίγο μεγαλύτερο, η εκπαίδευση του χειριστή, το κόστος συντήρησης και η ευκολία μεταφοράς του είναι η ίδια στις δύο μεθόδους. Τελικά όμως, λόγω των διαφόρων εξισώσεων που έχουν βρεθεί για κάθε ξεχωριστή περίπτωση στη BIA, αλλά και λόγω της αναγκαιότητας για συνεχή βαθμονόμηση,

χρησιμοποιώντας τις τιμές των ειδικών αντιστάσεων για διαφορετικούς πληθυσμούς, η BIS δεν έχει διαδοθεί τόσο πολύ για μετρήσεις σύστασης σώματος. Ένα ακόμα μειονέκτημα της μεθόδου, αποτελεί το γεγονός ότι οι εξισώσεις ισχύουν για πληθυσμούς και όχι για μέτρηση ξεχωριστά ατόμων (Ellis, 2000; Ellis, 2001).

Ολική ηλεκτρική αγωγιμότητα σώματος (TOBEC: Total Body Electrical Conductivity)

Η μέθοδος αυτή, μετρά την ολική αγωγιμότητα του σώματος στο ηλεκτρικό φορτίο, για προσδιορισμό του νερού και της ποσότητας των ηλεκτρολυτών, ώστε εν συνεχεία να υπολογιστεί το σωματικό λίπος και η ισχνή μάζα σώματος. Αναλυτικότερα, η TOBEC βασίζεται στο φαινόμενο κατά το οποίο όταν το σώμα τοποθετείται μέσα σε ένα σωληνοειδές πηνίο ή σε πηνίο γενικότερα για να παραχθεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, επάγονται δινορεύματα στους αγωγίμους ιστούς του σώματος. Αυτά τα ρεύματα αντιτίθενται στη διεύθυνση του ρεύματος του πηνίου και δημιουργείται αταξία με αποτέλεσμα μικρή ποσότητα από την ενέργεια (E: Energy) του σώματος να απορροφάται και να διασκορπίζεται σαν ζέστη. Η ένταση αυτού του φαινομένου εξαρτάται από την έκταση και τη σταθερότητα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, την αγωγιμότητα των ιστών και τις διασταυρούμενες περιοχές του σώματος. Εάν το σώμα θεωρηθεί κύλινδρος με όγκο V (Volume) και μήκος L (Length) τότε $V = (E * L)^{1/2}$, όπου το E ονομάζεται ως «TOBEC αριθμός». Η ένταση της αγωγιμότητας, θεωρείται ως την ένταση των ολικών σωματικών ηλεκτρολυτών, για αυτόν τον λόγο και το μηχάνημα βαθμονομείται με τη μέτρηση του TBW.

Στο εμπόριο υπάρχουν δύο μοντέλα για τη μέτρηση της TOBEC (EM-Scan, Springfield, IL), τα οποία έχουν διαφορετικό μέγεθος. Το ένα μετράει παιδιά και το άλλο ενήλικες. Το άτομο τοποθετείται στο κέντρο του μαγνητικού πεδίου και λαμβάνονται πληροφορίες από 64 μέρη από όλο το μήκος του σώματος, τα οποία αναλύονται και μέσα από τις εξισώσεις που έχουν δημιουργηθεί για το TOBEC υπολογίζονται το σωματικό λίπος και η ισχνή μάζα σώματος.

Στην πραγματικότητα το TOBEC χρησιμοποιείται κυρίως για τον έλεγχο του TBW, διότι δείχνει ότι δε γίνονται αλλαγές στα υγρά και στους ηλεκτρολύτες στα ενδοκυττάρια και εξωκυττάρια μέρη. Επίσης, οι μετρήσεις του TOBEC ελέγχουν τις αλλαγές στη σύσταση σώματος σε γυναίκες κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης και της γαλουχίας, σε βρέφη και σε παχύσαρκα παιδιά, ενώ έχει πολύ υψηλή ακρίβεια της τάξης του 1%. Παρόλα αυτά, στις μέρες μας χρησιμοποιείται σπάνια σε παιδιατρικές κλινικές και σε μικρές έρευνες ζώων και η χρήση της TOBEC περιορίστηκε λόγω του υψηλού κόστους και της δύσκολης μετακίνησης των μηχανημάτων (Baumgartner, 1996; Ellis, 2000; Williams, 2003).

1.4.7. Απορροφησιμετρία

Η πολύ διαδεδομένη χρήση της απορροφησιμετρίας απλής και διπλής ενέργειας με φωτόνια (SPA: Single Photon Absorptiometry, DPA: Dual Photon Absorptiometry), από το 1963 έως το 1984, συνετέλεσε στην δημιουργία της απορροφησιμετρίας διπλής ενέργειας ακτίνων X (DEXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry). Αρχικά το SPA που προηγείται, δημιουργήθηκε για την

εκτίμηση μόνο της οστικής μάζας στην κερκίδα και στην ωλένη χρησιμοποιώντας ιώδιο-125 (^{125}I) και δε θα αναλυθεί περαιτέρω.

Στις τεχνικές απορροφησιομετρίας ισχύει ότι όταν μια δέσμη ακτίνων Χ ή φωτονίων εφαρμοσθεί στη μια πλευρά ενός σώματος, τότε η ένταση της δέσμης στην απέναντι πλευρά εξαρτάται από το πάχος, την πυκνότητα και τη χημική σύσταση του σώματος. Η εξασθένηση της ακτινοβολίας δεν είναι γραμμική, όπως θα γινόταν σε ένα ομογενές υλικό. Επίσης, η εξασθένηση που συμβαίνει στα οστά, στην άλιπη μάζα και στο λίπος εκφράζει τη διαφορά στις πυκνότητές τους και στην χημική σύστασή τους, ενώ αυξάνοντας σταδιακά την ενέργεια των φωτονίων, οι διαφορές της εξασθένησης αυτών των ιστών μειώνεται (Lohman, 1992; Lohman, 1996; Ellis, 2000).

Απορροφησιομετρία διπλής ενέργειας με φωτόνια

Το DPA με τη βοήθεια ακτίνων φωτονίων, οι οποίες περνούν από τους ιστούς διαφοροποιεί τους μαλακούς ιστούς από τον οστίτη ιστό και με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται το σωματικό λίπος και η οστική μάζα. Σε αυτήν την τεχνική χρησιμοποιήθηκε αντί του ^{125}I , το γαδολίνιο-153 (^{153}Gd), το οποίο εκπέμπει δύο ακτίνες γ στα 44 και στα 100 keV αντίστοιχα.

Στη μέθοδο αυτή, μειώνεται σταδιακά η ακρίβεια της, η οποία υπολογίζεται στο 3,2-4,7%, διότι η πηγή ακτινοβολίας φθείρεται πολύ γρήγορα με το πέρασμα του χρόνου και είναι δύσκολη η εκτίμηση της αλλαγής της οστικής μάζας σε ένα άτομο. Ακόμα, το κόστος του εξοπλισμού είναι μεγάλο και απαιτείται πολύπλοκη βαθμονόμηση και πολύπλοκος μαθηματικός χειρισμός στα δεδομένα που συλλέγονται. Τέλος, ο όγκος του μηχανήματος είναι απαγορευτικός για μεταφορά, για αυτόν το λόγο γίνεται η

μέτρηση αποκλειστικά σε εργαστήριο (Jensen, 1992; Lohman, 1996; Williams, 2003).

Απορροφησιομετρία διπλής ενέργειας ακτίνων Χ

Το DEXA άρχισε να χρησιμοποιείται από το 1987 και αποτελεί μια τεχνική μέτρησης με ακτίνες Χ δύο διαφορετικών ενεργειακών επιπέδων για απεικόνιση του σωματικού λίπους. Η τεχνική αυτή, χρησιμοποιείται όπως και οι προηγούμενες της, και για τον υπολογισμό της οστικής μάζας και ειδικότερα για τη μέτρηση της οσφυϊκής περιοχής, του μηριαίου οστού και του αντιβραχίου, τα οποία δε μπορούσαν να μετρηθούν με τα SPA και DPA, ενώ παίζει σημαντικό ρόλο στη μέτρηση οστικής απώλειας για την κλινική διάγνωση της οστεοπενίας και οστεοπόρωσης. Πιο συγκεκριμένα, με το DEXA εκτιμώνται τα ανόργανα άλατα των οστών (TBBM: Total Body Bone Mineral), η πυκνότητα των ανόργανων αλάτων (TBMD: Total Body Mineral Density), η ισχνή μάζα σώματος (LTM: Lean Tissue Mass), λιπώδης μάζα (FM: Fat Mass), μαλακή μάζα (STM: Soft Tissue Mass), όπου $STM=LTM+FM$ και άλιπη μάζα (FFM: Fat Free Mass), όπου $FFM=LTM+TBBM$. Η διαδικασία μέτρησης με το άτομο που μετράται να είναι ξαπλωμένο ανάσκελα για 10 λεπτά περίπου, αφαιρώντας μόνο οποιοδήποτε μεταλλικό αντικείμενο από πάνω τους.

Η μέθοδος αυτή προτιμάται από άλλες που μετρώνται τα ίδια, όπως είναι οι CT και MRI, λόγω του μικρού χρόνου μέτρησης, της καλής και απλής ανάλυσης και ακρίβειας, η οποία ποικίλει από 0,6-1,6%. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η μικρή ποσότητα ακτινοβολίας που δέχεται το άτομο, η οποία είναι της τάξης των 0,05-1,5 mrem για ολόσωμη σάρωση, ανάλογα με το είδος του μηχανήματος και την ταχύτητα σάρωσης, $\frac{1}{4}$ περίπου της

ακτινοβολίας που δέχεται κανείς κατά τη διάρκεια ενός υπερατλαντικού ταξιδιού μεταξύ Ευρώπης-Αμερικής (4-6 mrem). Επομένως, μπορεί η μέτρηση να γίνει αρκετές φορές στο ίδιο άτομο, ακόμα και σε μωρά ή μικρά παιδιά. Ωστόσο καλό είναι να αποφεύγεται η χρήση του σε εγκύους. Παρόλα τα θετικά της μεθόδου όμως, δε θεωρείται ως «χρυσή μέθοδος» για τις μετρήσεις των μαλακών ιστών σε όλους τους πληθυσμούς, λόγω προβλημάτων που δημιουργούνται από την επίδραση της υγρασίας, του πάχους των ιστών και την κατανομή του λίπους. Στα παχύσαρκα άτομα δηλαδή, παρουσιάζονται μεγάλα σφάλματα, επειδή για να χωρέσουν πάνω στο μηχάνημα σκανάρονται σε "πιεσμένη" θέση και προκαλούνται προβλήματα στην τοπική ανάλυση, ενώ έχει βρεθεί ότι το DEXA υποεκτιμάει το σωματικό λίπος, καθώς αυξάνεται το λίπος ή η ηλικία και υπερεκτιμάει το λίπος σε ελλειποβαρείς πληθυσμούς. Οσον αφορά την αυθεντικότητα της μεθόδου υπολογίζεται περίπου στο 3-4%. Γενικότερα, η ακρίβεια της μεθόδου, αν και είναι πολύ καλή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα επίπεδα ενυδάτωσης, το μέγεθος, το πάχος του ατόμου, τη διαδικασία βαθμονόμησης, το λογισμικό, την εταιρεία παραγωγής και το μοντέλο του οργάνου (Ellis, 2000; Lohman, 1996; Williams, 2003).

Ενέργειες που αφορούν το DEXA

Απορροφησιομετρία τριπλής ενέργειας ακτίνων Χ

Πολλές έρευνες ασχολούνται για τη δημιουργία τεχνικών απορροφησιομετρίας τριπλής ενέργειας ακτίνων Χ, οι οποίες θα είναι ουσιαστικά επέκταση του DEXA. Σε αυτές τις τεχνικές, θα εκπέμπονται τριών διαφορετικών επιπέδων ακτίνων Χ, έτσι ώστε να επιτευχθεί η εκτίμηση όχι μόνο των οστών και του λίπους, αλλά και του σωματικού νερού και της πρωτεϊνικής μάζας (Ellis, 2000).

1.4.8.Τεχνικές απεικόνισης

Από τις πιο σημαντικές εξελίξεις, όσον αφορά τις μεθόδους για την εκτίμηση της σύστασης σώματος αποτελούν η μαγνητική τομογραφία και η αξονική τομογραφία. Με τη βοήθεια των μεθόδων αυτών, δημιουργήθηκε η δυνατότητα να απεικονιστεί το ανθρώπινο σώμα και βοήθησε τους ερευνητές σε μεγάλο βαθμό να αξιολογήσουν καλύτερα τη σύσταση του σώματος. Μερικά από τα μοναδικά πλεονεκτήματα των τεχνικών απεικόνισης είναι η μέτρηση και κατανομή του τοπικού και ολικού λιπώδη ιστού, η ποσοτικοποίηση της άλιπης μάζας και η εκτίμηση του υποδόριου (SAT: Subcutaneous Adipose Tissue) και σπλαχνικού λίπους (VAT: Visceral Adipose Tissue). Στην πραγματικότητα, με αυτόν τον τρόπο, υπήρξε μεγαλύτερη συσχέτιση ανάμεσα στη σύσταση σώματος και στους κινδύνους της υγείας (Despres και συν., 1996).

Μαγνητική τομογραφία (MRI: Magnetic Resonance Imaging)

Σε αυτήν τη μέθοδο, η απεικόνιση των ιστών του σώματος γίνεται με μαγνητικά κύματα και ραδιοκύματα. Αποτελεί πολύ χρήσιμη τεχνική για την απεικόνιση του εν τω βάθει περιτοναϊκού λίπους και τον προσδιορισμό σε τοπικό επίπεδο της σύστασης του σώματος. Ακόμα με το MRI μετρώνται το μέγεθος του ήπατος, του σπλήνα και των νεφρών.

Πιο συγκεκριμένα, το άτομο τοποθετείται στο μαγνητικό πεδίο του μαγνητικού τομογράφου και εφαρμόζεται πάνω του ισχυρό πεδίο, αναγκάζοντας τα πρωτόνια να προσανατολισθούν προς το μαγνητικό πεδίο. Εν συνεχεία, έχοντας προσανατολισθεί τα πρωτόνια, εφαρμόζονται ραδιοκύματα, με αποτέλεσμα πολλά πρωτόνια να αναπηδήσουν ή να απορροφήσουν

ενέργεια. Όταν σταματήσει η εφαρμογή των ραδιοκυμάτων, τα πρωτόνια επιστρέφουν στην αρχική τους θέση και εκπέμπουν την ενέργεια που είχαν απορροφήσει. Η εκπομπή αυτής της ενέργειας, απεικονίζεται στον μαγνητικό τομογράφο. Κυρίως χρησιμοποιούνται τα πρωτόνια του υδρογόνου (^1H), διότι μπορούν πολύ εύκολα να προσανατολισθούν στο μαγνητικό πεδίο και επειδή αποτελεί ένα στοιχείο σε αφθονία στο σώμα, αφού βρίσκεται κυρίως στο νερό.

Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να εκτιμήσει τις μεταβολές του SAT και του VAT. Με αυτόν τον τρόπο θα παίξει σημαντικό ρόλο στην ταυτοποίηση των ατόμων με αυξημένο κίνδυνο για ποικίλες κλινικές καταστάσεις, όπως επίσης θα μπορούν να ελέγχουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων θεραπειών για την παχυσαρκία. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του MRI είναι το μεγάλο κόστος του μηχανήματος, των ανταλλακτικών και της συντήρησης, αλλά και η ανάγκη για πολύ καλά εκπαιδευμένο προσωπικό. Ακόμα, χρειάζονται 30 λεπτά ή περισσότερο για την εφαρμογή της μεθόδου σε ολόκληρο το σώμα, ενώ θα πρέπει να κρατάει ο εξεταζόμενος την αναπνοή του όταν μετράται κάθε διαφορετικό μέρος. Η μέθοδος μέχρι σήμερα είναι αποκλειστικά εργαστηριακή και περιορίζεται σε μεγάλα ιατρικά κέντρα. Όσον αφορά την ακρίβεια και την αυθεντικότητα, υπάρχουν κυρίως μελέτες σε ζώα ή σε πτώματα, αν και υπολογίζεται στο 2-10% και 1,1-10,1% αντίστοιχα. Επομένως σε αυτό το πεδίο χρειάζεται περαιτέρω έρευνα (Despres και συν., 1996; Ellis, 2000; Ellis, 2001).

Αξονική τομογραφία (CT: Computed Tomography)

Αυτή η μέθοδος αποτελεί μια τεχνική μέτρησης με ακτίνες X, χρήσιμη στον προσδιορισμό του υποδόριου και του εν τω βάθει λίπους για τον υπολογισμό του συνολικού ποσοστού σωματικού λίπους. Επίσης χρησιμοποιείται και στον υπολογισμό της μυϊκής και οστικής μάζας.

Αναλυτικότερα, το άτομο ξαπλώνει με τα χέρια τεντωμένα πάνω από το κεφάλι, ανάμεσα σε ένα αγωγό εκπομπής ακτίνων X για την εκπομπή δέσμης ακτίνων X και σε ένα ανιχνευτή για τη μέτρηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Ο αγωγός εκπομπής ακτίνων X και ο ανιχνευτής, περιστρέφονται σαν μονάδα γύρω από το άτομο που εξετάζεται καλύπτοντας 360° . Εναλλακτικά, μπορεί να υπάρχει ένας κυκλικός ανιχνευτής γύρω από το άτομο και να περιστρέφεται μόνο ο αγωγός εκπομπής ακτίνων X. Σε κάθε στάδιο της περιστροφής μετράται και καταγράφεται η εκπεμπόμενη ακτινοβολία με αποτέλεσμα να δίνονται πληροφορίες για την εσωτερική δομή του ατόμου, μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η εικόνα που επιτυγχάνεται μοιάζει πολύ με αυτή της MRI, με τη διαφορά ότι παρέχει επιπλέον πληροφορίες για την πραγματική πυκνότητα των ιστών. Επιπρόσθετα, έχει τη δυνατότητα να ξεχωρίζει την ολική λιπώδη μάζα σε υποδόρια και σπλαχνική μάζα, όπως και την άλιπη μάζα σε σκελετική μυϊκή και σπλαχνική ή μάζα των οργάνων.

Τα πλεονεκτήματα του CT, επιπρόσθετα από τις μετρήσεις που έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί, είναι το γεγονός ότι έχει πολύ καλή ακρίβεια και αυθεντικότητα, οι οποίες είναι $<1\%$. Σε σχέση με τη MRI, υπολογίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια το σπλαχνικό λίπος και η διάρκεια της μέτρησης είναι μικρότερη στη CT. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου, εκτός του

μεγάλου κόστους του μηχανήματος, της συντήρησης και η αναγκαιότητα για ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό, αποτελεί το ποσό της ακτινοβολίας που απαιτείται για τη μέτρηση (Despres και συν., 1996; Ellis, 2000; Ellis, 2001).

1.4.9.Εγγύς υπέρυθρη αλληλεπίδραση (NIR: Near-Infrared Interactance Method)

Η μέθοδος αυτή, αρχικά χρησιμοποιούνταν για τη μέτρηση των συστατικών γεωργικών προϊόντων σε πρωτεΐνη, λίπος και νερό. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκε και για την εκτίμηση της σύστασης σώματος στον άνθρωπο. Το εγγύς υπέρυθρο φως, διέρχεται από τους ιστούς και αλληλεπιδρά με τα συστατικά διαφόρων ιστών, ώστε να υπολογιστεί το σωματικό λίπος. Στο εμπόριο το διαθέσιμο μοντέλο είναι το Futrex 5000, ενώ έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και το επόμενο μοντέλο το Futrex 6000, τα οποία τοποθετούνται κυρίως στους δικέφαλους και η μέτρηση γίνεται, ασκώντας πίεση σε αυτό το σημείο.

Σε αυτή τη μέθοδο θα πρέπει να ισχύουν δύο υποθέσεις και δύο αρχές για μεγαλύτερη ακρίβεια, οι οποίες είναι οι παρακάτω:

1. Ο βαθμός του υπέρυθρου φωτός που απορροφάται και αντανακλάται σχετίζεται και με τη σύσταση των ιστών, οι οποίοι διαπερνώνται, αλλά και από ειδικό μήκος κύματος του εγγύς υπέρυθρου φωτός.
2. Το εγγύς υπέρυθρο φως διαπερνά τους ιστούς σε βάθος μέχρι 4 cm και αντανακλάται πίσω στον ανιχνευτή.
3. Οι πυκνότητες σχετίζονται γραμμικά με το υποδόριο λίπος στους δικέφαλους μύες και στο ολικό σωματικό λίπος.

4. Η ηλικία και το φύλο είναι ανεξάρτητα της ολικής σωματικής πυκνότητας και του ποσοστού του σωματικού λίπους.

Σε μελέτες έχει βρεθεί ότι η μέθοδος εμπεριέχει τυπικό σφάλμα της τάξης του 4-5%, όμως έχοντας υπόψη αυτές τις υποθέσεις και τις αρχές, μειώνονται κάπως τα σφάλματα. Κάποιοι άλλοι παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να είναι σημαντικές πηγές σφάλματος είναι το μοντέλο του μηχανήματος, όπου θα πρέπει να χρησιμοποιείται το πιο σύγχρονο. Η εκπαίδευση των χρηστών του μηχανήματος, δεν αποτελεί σημαντική πηγή σφάλματος για τη NIR, όμως η πίεση που ασκείται για τη μέτρηση μέσω του μηχανήματος, επηρεάζει την τιμή στις πυκνότητες. Ακόμα, το χρώμα του δέρματος και η κατάσταση ενυδάτωσης, μπορεί να αυξήσει το σφάλμα, όπως και οι εξισώσεις για τις διάφορες ηλικιακές ομάδες και εθνικότητες δεν έχουν υψηλή ακρίβεια (Heyward & Stolarczyk, 1996; Williams, 2003).

2. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η αξιολόγηση σύστασης σώματος σε κακοήθη παχυσαρκία, θέτει πολλούς περιορισμούς, λόγω της μεταβαλλόμενης σωματικής ενυδάτωσης, σκελετικών μυών, οστικής μάζας και σύστασης FFM, της διαφορετικής κατάστασης ενυδάτωσης ανάμεσα στα άτομα αυτά και κυρίως λόγω του μεγάλου όγκου τους (Wang & Pierson, 1976; Waki και συν., 1991). Επιπρόσθετα, σε αυτόν τον τομέα δεν υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες έρευνες, έτσι ώστε να μπορεί κανείς με σιγουριά να υπολογίσει το σωματικό λίπος στα άτομα αυτά, χωρίς μεγάλη πιθανότητα σφάλματος.

Γενικότερα, έρευνες δείχνουν ότι η ενυδάτωση της FFM αυξάνεται καθώς αυξάνεται το σωματικό λίπος. Τα επίπεδα ενυδάτωσης στους παχύσαρκους άνδρες (74,2% FFM) και γυναίκες (76-77% FFM) είναι μεγαλύτερα σε σχέση με αυτά των αδύνατων ανδρών (72,6 FFM) και γυναικών (73-74% FFM) (Segal και συν., 1987; Albu και συν, 1989). Επίσης, στα παχύσαρκα άτομα υπάρχει μεγαλύτερη αύξηση στα εξωκυττάρια υγρά σε σχέση με τα ενδοκυττάρια υγρά, δηλαδή δεν αυξάνεται αναλογικά το TBW, ανάμεσα στα ενδοκυττάρια και εξωκυττάρια διαμερίσματα (Waki και συν., 1991). Επομένως οι ερευνητές προτείνουν να μην χρησιμοποιούνται τα μοντέλα των δύο διαμερισμάτων, διότι υπάρχει υπερεκτίμηση του %BF στα παχύσαρκα άτομα περίπου 2-4 %BF (Deurenberg και συν., 1989). Τέλος, τα TBWM είναι περισσότερα στις παχύσαρκες γυναίκες (>33 %BF) σε σχέση με τις πιο αδύνατες γυναίκες (<33 %BF), όπως και η σχέση ανόργανων αλάτων των οστών προς FFM είναι υψηλότερη σε προεμμηνόπαυσιακές, παχύσαρκες γυναίκες (Lindsay και συν., 1992).

Καθώς περιγράφονται οι διάφορες μέθοδοι παραπάνω, αναφέρονται διάφορα προβλήματα όσον αφορά την αξιολόγηση σύστασης σώματος σε παχύσαρκα άτομα, αλλά και σε διάφορες δυσκολίες που περιορίζουν τις μετρήσεις. Η χρήση του ΔΜΣ και πινάκων ύψους - βάρους δε θεωρούνται ενδεικτικά της σύστασης σώματος, όπως αναλύεται περισσότερο και στην εισαγωγή. Αναλυτικότερα για τις μεθόδους αξιολόγησης σύστασης σώματος και λαμβάνοντας υπόψη διάφορες έρευνες, έχει διαπιστωθεί ότι η μέτρηση των δερματικών πτυχών αποτελεί μια εντελώς αναξιόπιστη μέθοδος για τα παχύσαρκα άτομα. Κατ'αρχήν, η μέτρηση των δερματικών πτυχών στηρίζεται στο μοντέλο των 2-C, στο οποίο όπως αναφέρεται και παραπάνω υπάρχει μεγάλη υπερεκτίμηση στο %BF, λόγω της διαφοράς των ενδοκυττάρων και εξωκυττάρων υγρών. Παρόλο που έχουν δημιουργηθεί διάφορες εξισώσεις συγκεκριμένα για υπέρβαρα και παχύσαρκα άτομα για τον υπολογισμό του %BF, υπάρχει ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις υπερεκτίμηση 2-3 %BF (Wilmore και συν., 1994). Άλλοι περιορισμοί οι οποίοι ισχύουν ως προς τη μέτρηση των δερματικών πτυχών, είναι όλα τα προβλήματα που ισχύουν σε αυτήν τη μέτρηση, αλλά και η μεγάλη δυσκολία στα παχύσαρκα άτομα να μετρηθεί ακριβώς και ολόκληρη η δερματική πτυχή, λόγω της μεγάλης ποσότητας λίπους και πολλές φορές της δύσκολης συμπίεστότητας που υπάρχει σε πολλά άτομα (Clarys και συν., 1987; Bray & Gray, 1988; Gray, 1990). Όσον αφορά τη σωματομετρία, αποτελεί μια σχετικά αξιόπιστη μέθοδο, χρησιμοποιώντας ειδικές ανθρωπομετρικές εξισώσεις για παχύσαρκα άτομα έχοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα της μεθόδου τα οποία είναι η ευκολία μέτρησης, το μικρό κόστος και η απουσία ανάγκης οδηγιών για πριν τη συγκεκριμένη μέτρηση (Weltman και συν., 1987).

Από τις πιο χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την αξιολόγηση σύστασης σώματος αποτελεί η βιοηλεκτρική εμπέδηση, υπολογίζοντας το %BF με τη βοήθεια ειδικών εξισώσεων για παχύσαρκα άτομα (Frankenfield και συν., 2001). Ο πρώτος που δημιούργησε τέτοιες εξισώσεις ήταν ο Segal και οι συν. (1988) για γυναίκες και άνδρες ξεχωριστά. Αργότερα, αποδείχθηκε ότι αυτές οι εξισώσεις υπερεκτιμούν το FFM, ιδιαίτερα σε γυναίκες με περισσότερο από 48 %BF και για αυτό δημιουργήθηκαν νέες εξισώσεις (Gray και συν., 1989). Συμπερασματικά, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως σε παχύσαρκα άτομα χωρίς μεγάλη πιθανότητα λάθους, προσέχοντας όμως να μην υπολογίζεται το %BF με τις εξισώσεις του κατασκευαστή, διότι υπάρχει υπερεκτίμηση, αλλά αυτές του Gray (Fulcher και συν., 1991; Heyward και συν., 1992; Ross και συν., 1989). Ως προς τις άλλες μεθόδους βιοηλεκτρικής εμπέδησης και αγωγιμότητας όπως είναι η BIS έχει αντικατασταθεί από τη BIA, λόγω μεγαλύτερης ακρίβειας, ενώ η TOBEC δε χρησιμοποιείται συχνά εξαιτίας του μεγάλου κόστους και της δύσκολης μετακίνησης.

Στην κακοήγη παχυσαρκία οι μέθοδοι της απορροφησιομετρίας δεν θεωρούνται ιδιαίτερα χρήσιμες κατά κύριο λόγο επειδή υπολογίζονται από αυτές τις μεθόδους τα TTBM και όπως αναφέρεται υπάρχει σφάλμα στα παχύσαρκα άτομα. Σε αυτήν τη μέθοδο υπάρχει υπερεκτίμηση του σωματικού λίπους, καθώς αυξάνεται το λίπος, ενώ η αξιοπιστία εξαρτάται από την ενυδάτωση, το πάχος και το μέγεθος του ατόμου που μετράται. Πολλές φορές η DEXA αντενδεικνύεται στα άτομα τα οποία είναι περισσότερο από 100 kg, διότι το μηχάνημα είναι ευαίσθητο σε μεγάλους όγκους, ενώ μπορεί να γίνει σφάλμα εξαιτίας της "πιεσμένης" θέσης που θα έχει το άτομο αυτό (Laferere και συν., 2000; Lazzer και συν., 2003; Panotopoulos και συν., 2000).

Σχετικά με τις μεθόδους υδρομετρίας αποτελούν αξιόπιστες μεθόδους αξιολόγησης για τα παχύσαρκα άτομα, διότι ουσιαστικά υπολογίζουν τα ενδοκυττάρια και εξωκυττάρια υγρά τα οποία μεταβάλλονται στην πραγματικότητα στους παχύσαρκους, με πολλή μικρή υπερεκτίμηση του %BF και ο μόνος περιορισμός είναι το κόστος και η ανάγκη εργαστηρίων για την ανάλυση των δειγμάτων. Αντιθέτως, όλες οι μέθοδοι της πυκνομετρίας θεωρούνται αξιόπιστες για την κακοήγη παχυσαρκία, γιατί στηρίζεται στο μοντέλο των 2-C και οι υποθέσεις οι οποίες θα πρέπει να ισχύουν για να είναι ακριβείς αυτές οι μέθοδοι στα παχύσαρκα άτομα δεν ισχύουν, όπως αναφέρεται και παραπάνω. Επιπλέον, σε αυτές τις μεθόδους υπάρχει περιορισμός ως προς τη χρήση τους, λόγω του μεγέθους των ατόμων, αν και ειδικά η πληθυσμογραφία αποτελεί μια ελκυστική μέθοδο, εξαιτίας της ευκολίας και του μικρού χρόνου μέτρησης, παρόλο που υπερεκτιμάει ~1,8 %BF (Das και συν., 2003).

Η μέθοδος NIR θεωρείται ακατάλληλη για παχύσαρκα άτομα, με μη αποδεκτά σφάλματα και συστηματικά υποεκτίμηση του σωματικού λίπους περίπου 10-16 %BF. Σε αυτήν τη μέθοδο φαίνεται ότι η μεγάλη ποσότητα του υποδόριου λίπους επηρεάζει το βάθος των ιστών, που διαπερνά το εγγύς υπέρυθρο φως, κατά τη μέτρηση (Davis και συν., 1989; Elia και συν., 1990; Wilmore και συν., 1994).

Υπάρχουν κάποιες μέθοδοι οι οποίες είναι απαγορευτικές λόγω κόστους, δυσκολίες μεταφοράς και άλλων παρόμοιων αιτιών. Συγκεκριμένα, μια αξιόπιστη μέθοδος για την αξιολόγηση σύστασης σώματος σε κακοήγη παχυσαρκία είναι οι υπέρηχοι, με σημαντικούς περιορισμούς όμως το υψηλό κόστος και τη δυσκολία μεταφοράς του μηχανήματος, τους καθιστούν τελικά

μία μη ιδιαίτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Ακόμα, οι μέθοδοι NAA και TBK, έχουν μεγάλες δυσκολίες τεχνικής, μεγάλο κόστος και η ανάγκη για ειδικά διαμορφωμένους εργαστηριακούς χώρους, αν και ακριβής (Laferere και συν., 2000;). Το ίδιο ισχύει και για τις μεθόδους απεικόνισης, όπως είναι η MRI και η CT, οι οποίες θεωρούνται πολύ αξιόπιστες, (Albu και συν., 2000) αλλά δεν χρησιμοποιούνται η μεν πρώτη εξαιτίας της ανάγκης ειδικών εργαστηρίων, η δε δεύτερη κυρίως της μεγάλης ακτινοβολίας που εκπέμπει, αλλά και για το μεγάλο κόστος και την εκπαίδευση των χειριστών που απαιτούνται.

Συμπερασματικά, για την αξιολόγηση σύστασης σώματος σε κακοήγη παχυσαρκία, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της σωματομετρίας και BIA με μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες εξισώσεις (Funkhouser και συν., 2000). Ακόμα οι μέθοδοι της υδρομετρίας αποτελούν, αξιόπιστες μέθοδοι και ίσως από τις μεθόδους πυκνομετρίας, η πληθυσμογραφία, αλλά έχουν ιδιαίτερα υψηλό κόστος και είναι αρκετά πολύπλοκες. Όλες οι υπόλοιπες μέθοδοι έχουν διάφορους περιορισμούς και προβλήματα και σε σχέση με τα παχύσαρκα άτομα, αλλά και με τις ίδιες τις μεθόδους, κυρίως σχετικά με το κόστος, το μέγεθος των μηχανημάτων, της εκπαίδευσης των χειριστών και την ανάγκη ύπαρξης ειδικά διαμορφωμένων χώρων και εργαστηρίων.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΣΕΓΓΙΣΗ

Σκοπός

Λαμβάνοντας υπόψη όλα όσα προαναφέρονται στη συζήτηση, σχεδιάστηκε μια έρευνα, η οποία είχε ως σκοπό την εύρεση ειδικών εξισώσεων για τη μέθοδο BIA, συγκεκριμένα για ενήλικες άνδρες και γυναίκες, ελληνικής καταγωγής και με $\Delta\text{ΜΣ} > 40 \text{ kg/m}^2$, έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη και όσο το δυνατό πιο ακριβής αξιολόγηση σύσταση σώματος στα άτομα αυτά. Εξάλλου, η μέθοδος BIA αποτελεί μια πολύ εύχρηστη, εύκολη, γρήγορη, φθηνή μέθοδο και χωρίς ιδιαίτερη εκπαίδευση των χειριστών, τα οποία ενισχύουν την επιλογή μας για εύρεση των καταλληλότερων δυνατών εξισώσεων.

Δείγμα

Το δείγμα της μελέτης αυτής, ήταν 12 άτομα, εκ των οποίων 10 γυναίκες και 2 άνδρες, ηλικίας 35 ± 15 έτη και με $\Delta\text{ΜΣ} = 39,6 - 57,2 \text{ kg/m}^2$, όπως φαίνεται αναλυτικότερα και στον πίνακα παρακάτω. Τα άτομα αυτά θα έκαναν εγχείρηση γαστροπλαστικής στο Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών «Ευαγγελισμός» και οι μετρήσεις γίνονταν στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της έρευνας περιελάμβανε δύο μετρήσεις στα άτομα αυτά, οι οποίες γίνονταν την ίδια ημέρα και ήταν μέτρηση βοιηλεκτρικής εμπέδησης με τη μέθοδο BIA και η άλλη ήταν μέτρηση υδρομετρίας και πιο συγκεκριμένα υπολογισμό του με TBW χρησιμοποιώντας ως διάλυμα το

δευτέριο. Μετά την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και χρησιμοποιώντας ως μέθοδο αναφοράς το TBW και συγκεκριμένα τη μέθοδο διάλυσης του σημασμένου νερού (D_2O), θα υπάρξει συσχέτιση ανάμεσα στις δύο μεθόδους και τελικά εύρεση νέων ειδικών εξισώσεων για τη μέθοδο BIA, στον πληθυσμό που εξετάστηκε. Ακολουθεί λεπτομερής ανάλυση της μεθοδολογίας των μετρήσεων που έγιναν στα παχύσαρκα άτομα.

BIA. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν με συσκευή βιοηλεκτρικής εμπέδησης με τέσσερα καλώδια - ηλεκτρόδια (Quantum, BIA – 101Q, RJL Systems), ενώ τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν IDASS Fitness Electrodes. Τα άτομα που μετρήθηκαν είχαν ακολουθήσει πιστά τις οδηγίες οι οποίες αναφέρονται παρακάτω στον πίνακα, ενώ πριν την μέτρηση αναπαύονταν για 15' περίπου. Αφού αφαιρούνταν όλα τα μεταλλικά αντικείμενα, τα παπούτσια και οι κάλτσες της δεξιάς πλευράς, αφού σε αυτήν την πλευρά θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια, ξάπλωναν ανάσκελα σε μονωτικά στρώματα, σε δωμάτιο με φυσιολογική θερμοκρασία, προσέχοντας τα άνω και κάτω άκρα να βρίσκονται σε γωνία τουλάχιστον 45° με τον κορμό, ώστε να μην έρχονται σε επαφή τα χέρια και τα πόδια μεταξύ τους ή με άλλο μέρος του σώματός τους. Έπειτα ξεκινάει η διαδικασία της μέτρησης, όπου ο τεχνικός καθάριζε με βαμβάκι ποτισμένο με αλκοόλη τα σημεία του δέρματος που θα εφαρμοστούν τα ηλεκτρόδια. Τα ηλεκτρόδια – αισθητήρες (προσαγωγά) τοποθετούνται το ένα στην πάνω επιφάνεια του καρπού και το άλλο στην πάνω επιφάνεια του αστραγάλου, ενώ τα ηλεκτρόδια της πηγής ρεύματος (απαγωγά) τοποθετούνται στη βάση των αρθρώσεων των δεύτερων και τρίτων μετακαρπίων φαλαγγών του χεριού και του ποδιού, έχοντας τουλάχιστον απόσταση 5 cm τα προσαγωγά και απαγωγά ηλεκτρόδια. Εν συνεχεία,

συνδέονται τα καλώδια με τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Τα κόκκινα καλώδια συνδέονται στα ηλεκτρόδια του καρπού και του αστραγάλου και τα μαύρα στα ηλεκτρόδια στις φάλαγγες. Μικρό ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 800 μA στα 50 kHz διαπερνά το σώμα και μετρώνται η R και η X_c .

Οδηγίες για μέτρηση BIA

-
- ✓ Να μην πιείτε ή φάτε τίποτα 4 ώρες πριν την μέτρηση.
 - ✓ Μην ασκηθείτε 12 ώρες πριν τη μέτρηση.
 - ✓ Να μην καταναλώσετε αλκοόλ 48 ώρες πριν τη μέτρηση.
 - ✓ Να μην πάρετε διουρητικά φάρμακα μια εβδομάδα πριν τη μέτρηση.
 - ✓ Να ουρήσετε 30' περίπου πριν τη μέτρηση.
 - ✓ Να μην εξετάζονται γυναίκες κατά την έμμηνο ρύση, οι οποίες παρατηρούν κατακράτηση υγρών.
-

TBW. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως διάλυμα δευτέριο (Deuterium oxide 99,9 at % D min, GOSS Scientific Instruments Ltd) που προστέθηκε σε νερό μέχρι να φτάσουν μαζί τα 200 ml. Το D_2O που χρησιμοποιήθηκε για κάθε άτομο ήταν διαφορετικό και υπολογίζονταν βάση του βάρους τους και συγκεκριμένα με 0,1 gr / kg ΣΒ. Η ακριβής ποσότητα που δόθηκε παρουσιάζεται στον πίνακα παρακάτω. Το μίγμα δινόταν από το στόμα, αφού είχε συλλεχθεί δείγμα ούρων νωρίς το πρωί. Τα άτομα παρέμεναν στο χώρο εξέτασης για 4 ώρες ακόμα, χωρίς να υπάρχει άσκηση και χωρίς να γίνεται κατανάλωση άλλου υγρού ή φαγητού, ακόμα και τσιγάρου. Επίσης δεν είχαν καταναλώσει υγρό ή φαγητό τις τελευταίες 12 ώρες και δεν είχαν ασκηθεί έντονα, περιορισμοί οι οποίοι ισχύουν και λόγω της

προηγούμενης μέτρησης. Μετά από 3 και 4 ώρες λαμβάνονταν όση περισσότερη ποσότητα ούρων μπορούσε να συλλεχθεί, μετρώντας την ποσότητά τους. Από όλα τα δείγματα συλλέγονται τελικά ~20 ml σε σωλήνες, οι οποίοι κλείνονται αεροστεγώς και φυλάσσονται σε θερμοκρασία ~20°C, μέχρι την ανάλυση σε μαζικό φασματογράφο. Από τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την ανάλυση υπολογίζεται με διάφορες εξισώσεις τελικά το TBW και από εκεί το FFM και τέλος το %BF.

Δυστυχώς όμως, τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δεν έχουν συμπεριληφθεί στη συγκεκριμένη μελέτη, λόγω του δεν υπήρξε έγκυρη παραλαβή των αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό του TBW και δεν ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της μελέτης.

Παρακάτω αναφέρονται τα άτομα που έλαβαν μέρος στην έρευνα με το βάρος, το ύψος, το ΔΜΣ, την ηλικία, τα ml D₂O που έλαβαν και οι τιμές των R και X_c, που έδειξε το BIA.

A/A	Βάρος (kg)	Ύψος (m)	ΔΜΣ (kg/m ²)	Ηλικία (έτη)	R (ohms)	X _c (ohms)	D ₂ O (ml)
05	136,6	1,58	54,72	39	392	42	13,61
06	167,4	1,73	55,93	41	226	33	16,76
08	134,5	1,7	46,54	34	481	53	13,39
09	129,9	1,74	42,91	28	380	36	13,04
10	118,6	1,54	50,01	21	451	58	11,85
11	114,4	1,66	41,52	23	334	49	11,54
12	137,7	1,68	48,79	30	410	49	13,62
13	106,5	1,64	39,60	41	457	51	11,06
14	115,2	1,58	46,15	45	401	44	11,49
15	157,6	1,66	57,19	43	417	49	15,73
16	159,5	1,68	56,51	27	421	43	15,82
17	136,7	1,73	45,67476	50	361	39	13,77

4. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή μελέτη έγινε προσπάθεια να βρεθούν οι καταλληλότερες μέθοδοι αξιολόγησης σύστασης σώματος στην κακοήθη παχυσαρκία, διότι δημιουργούνται ποικίλα προβλήματα στα άτομα αυτά. Υπήρξε δυσκολία εξαιτίας των περιορισμών που υπάρχουν στα άτομα αυτά, αλλά και του μικρού αριθμού ερευνών που έχουν διενεργηθεί σε αυτό το δείγμα.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία έγινε για τις διάφορες μεθόδους, έδειξε ότι καταλληλότερες μέθοδοι αποτελούν αυτές της υδρομετρίας και από την πυκνομετρία, η πληθυσμογραφία, όπως επίσης και η σωματομετρία και η ΒΙΑ χρησιμοποιώντας όμως τις ειδικές εξισώσεις. Οι υπόλοιπες μέθοδοι απορρίφθηκαν αρχικά λόγω της ακαταλληλότητας τους σε παχύσαρκα άτομα και έπειτα λόγω μεγάλου κόστους, μεγάλου όγκου, ανάγκης ειδικά εκπαιδευμένων χειριστών και ειδικά διαμορφωμένων χώρων και εργαστηρίων.

Στην προσπάθεια να βρεθεί η καταλληλότερη μέθοδος για αξιολόγηση σύστασης σώματος στη κακοήθη παχυσαρκία, επιλέχθηκε το TBW ως μέθοδος αναφοράς για τη δημιουργία νέων ειδικών εξισώσεων για ενήλικες ελληνικής καταγωγής ώστε να εφαρμοστούν στη μέθοδο ΒΙΑ. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί πολύ εύκολα να υπολογιστεί το σωματικό λίπος των ατόμων αυτών γρήγορα, με ευκολία, ακρίβεια και χωρίς μεγάλο κόστος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Albu J.B., Kovera A.J. and Johnson J.A., Fat Distribution and Health in Obesity. In Yasumura S., Wang J. and Pierson R.N.J. (Eds), *In Vivo Body Composition Studies*, ANYAA9: 904, 1-637, 2000.

Albu S., Lichtman S. Heymsfield S., Wang J., Pierson R.N. and PiSunyer F.X., Reassessment of body composition models in morbidly obese. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal*, 3, A336, 1989.

Baumgartner R.N., Electrical impedance and total body electrical conductivity In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds) *Human Body Composition* (pp. 77-108), Human Kinetics, 1996.

Behnke A.R., Feen B.G. and Welham W.C., The specific gravity of healthy men. Body weight and volume as an index of obesity. *J. Am. Med. Assoc.*, 118: 495-498, 1942.

Bray, G.A. and Gray, D.S., Anthropometric measurements in the obese. In T.G. Lohman, A.F. Roche and R. Martorell (Eds.), *Anthropometric standardization reference manual* (pp. 131-136). Champaign, IL: Human Kinetics, 1988a.

Clarys J.P., Martin A.D., Drinkwater D.T. and Marfell-Jones M.J., The skinfold: Myth and reality. *J. Sports Sci.*, 5, 3-33, 1987.

Cohn, S.H., Vartsky D., Yasumura D., Vaswani A.N. and Ellis K.J., Indexes of body cell mass: nitrogen versus potassium. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 244: E305-E310, 1983.

Cohn S.H., Vaswani A.N., Yasumura S., Yuen K. and Ellis K.J., Improved models for the determination of body fat by in vivo neutron activation. *Am. J. Clin. Nutr.* 40: 255-259, 1984.

Das S.K., Roberts S.B., Kehayias J.J., Wang J., Hsu L.K.G., Shikora S.A., Saltzman E. and McCrory M.A., Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 284: E1080-E1088, 2003.

Davis P.G., Van Loan M., Holly R.G., Krstich K. and Phinney S.D., Near - infrared interactance vs. hydrostatic weighing to measure body composition in lean, normal, and obese women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, S100, 1989.

Despres J.P., Ross R. and Lemieux S., Imaging Techniques Applied to the Measurements of Human Body Composition, In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 149-166), Human Kinetics, 1996.

Deurenberg P., Leenan R., van der Kooy K. and Hautvast J.G., In obese subjects the body fat percentage calculated with Siri's formula is an overestimation. *Eur. J. Nutr.*, 43, 569-575, 1989.

Dumler F. and Kilates C., Use of bioelectrical impedance techniques for monitoring nutritional status in patients of maintenance dialysis. *J. Ren. Nutr.* 10:116-124, 2000.

Durnin J.V., de Bruin H., Feunekes G.I., Skinfold thicknesses: is there a need to be very precise in their location? *Br. J. Nutr.* 77: 3-7, 1997.

Elian M., Parkinson S.A. and Diaz E., Evaluation of near-infrared interactance as a method for predicting body composition. *Eur. J. Nutr.*, 44, 113-121, 1990.

Ellis J.K., Whole Body Counting and Neutron Activation Analysis, In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 45-62), Human Kinetics, 1996.

Ellis J.K., Human Body Composition: In Vivo Methods. *Physiol. Rev.*, 80: 649-680, 2000

Ellis J.K., Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies. *J. Nutr.*, 131: 1589S-1595S, 2001

Frankefield D.C., Rowe W.A., Cooney R.N., Smith J.S. and Becker D., Limits of BodyMass Index to Detect Obesity and Predict Body Composition. *Nutr.*, 17: 26-30, 2001.

Fredrich E.W., Saris W.H., Soeters P.B., Wouters E.F., Kester A.D., von Meyenfeldt M.F. and Westerterp K.R., Estimation of body composition by bioelectrical impedance in cancer patients. *Eur. J. Nutr.*, 44, 749-752, 1990.

Funkhouser A., Laferere B., Wang J., Thornton J. and Pi-Sunyer F.X., Measurement of Percent Body Fat during Weight Loss in Obese Women. In Yasumura S., Wang J. and Pierson R.N.J. (Eds), *In Vivo Body Composition Studies*, ANYAA9: 904, 1-637, 2000.

Fulcher G.R., Farrer M., Walker M., Rodham D., Clayton B. and Alberti G.M.M., A comparison of measurements of lean body mass derived by bioelectrical impedance, skinfold thickness and total body potassium. A study in obese and nonobese normal subjects. *Scand. J. Cl. Lab. Inv.*, 51, 245-253, 1990.

George C.M., Wells C.L. and Dugan N.L., Validity of hydrodensitometry for determination of body composition in spinal injured subjects. *Hum. Biol.*, 60, 771-780, 1988.

Going B.S., Densitometry, In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 1-24), Human Kinetics, 1996.

Gray D.S., Bray G.A., Bauer M., Kaplan K., Gemayel N., Wood R., Greenway R. and Kirk S., Skinfold thickness measurements in obese subjects. *Am. J. Nutr.*, 51, 571-577, 1990.

Gray D.S., Bray G.A., Gemayel N. and Kaplan K., Effect of obesity on bioelectrical impedance. *Am. J. Nutr.*, 50, 255-260, 1989.

Groff J.L., Gropper S.S., *Advanced Nutrition and Human Metabolism*, Third Edition. 501-525, 2000.

Hammond K.A., Dietary and Clinical Assessment, In Mahan L.K. & Escott-Stump S. (Eds), *Krause's Food, Nutrition & Diet Therapy*, (pp 353-379), 10th edition, Saunders, 2000.

Hart P.D., Wilkie M.E., Edwards A. and Cunningham J., Dual energy x-ray absorpiometry versus skinfold measurements in the assessment of total body fat in renal transplant recipients. *Eur. J. Nutr.*, 47, 347-352, 1993.

Heyward V.H., Cook K.L., Hicks V.L., Jenkins K.A., Quatrochi J.A. and Wilson W., Predictive accuracy of three field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women. *Int. J. Sport Nutr.*, 2, 75-86, 1992.

Heyward H.V. and Stolarczyk M.L., *Applied Body Composition Assessment*, Human Kinetics, 1996.

Harrison G.G., Buskirk E.R. and Lindsay C.J.E., Skinfold Thickness and Measurement Technique. In : Lohman T.G., Roche A.F., Mortorell R. (Eds), *Anthropometrics Standardization Reference Manual*, Stanford University, 1998

Heymsfield S.B., Wang Z., Visser M., Gallagher D. and Pierson R.N., Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 64: 478S-484S, 1996.

Heymsfield S.B., Wang Z. and Withers R.T., Multicomponent Molecular Level Models of Body Composition Analysis, In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 129-148), Human Kinetics, 1996.

International Obesity Task Force (IOTF), www.ietf.org.

Jebb S.A., Measurement of soft tissue composition by dual energy X-ray absorptiometry. *Brit. J. Nutr.* 77:151-163, 1997.

Jensen M.D., Research techniques for body composition assessment. *J. Am. Diet. Assoc.* 92: 454-460, 1992.

Keteyian S.J., Marks C.R., Fedel F.J., Ehrman J.K., Goslin B.R., Connolly A.M., Fachnie J.D., Levine T.B. and O'Neil M.J., Assessment of body composition in heart transplant patients. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, 247-252, 1992.

Laferere B., Funkhouser A., Thornton J. and Pi-Sunyer F.X., Total Body Calcium in Obese Women. In Yasumura S., Wang J. and Pierson R.N.J. (Eds), *In Vivo Body Composition Studies*, ANYAA9: 904, 1-637, 2000.

- Lazzer S., Boire Y., Meyer M. and Velmorel M.,** Evaluation of two foot-to-foot bioelectrical impedance analysers to assess body composition in overweight and obese adolescents. *Br. J. Nutr.*, 90, 987-992, 2003.
- Lindsay R., Cosman F., Herrington B.S. and Himmelstein S.,** Bone mass and body composition in normal women. *J. B. Min. Res.*, 7, 55-63, 1992.
- Lohman G.T.,** Advances in Body Composition Assessment, Human Kinetics, 1992
- Lohman G.T.,** Dual Energy X-Ray Absorptiometry In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 63-78), Human Kinetics, 1996.
- Martin A. and Drinkwater D.,** Variability in the Measures of Body Fat Assumptions or Techniques? *Sports Med.* 11: 277-288, 1991.
- Mazess R.B., Barden H.S. and Ohlrich E.S.,** Skeletal and body-composition effects of anorexia nervosa. *Am. J. Nutr.*, 52, 438-441, 1990.
- Panotopoulos G., Ruiz J.C., Guy-Grant B. and Basdevant A.,** Dual x-ray absorptiometry, bioelectrical impedance and near-infrared interactance in obese women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: 4, 665-670, 2000.
- Pavlou K.N., Steffee W.P., Lerman R.H. and Burrows B.A.,** Effects of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake and strength. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17: 466-471, 1985.
- Prentice A.M. and Jebb S.A.,** Beyond body mass index. *Obesity Reviews*, 2, 141-147, 2001.
- Rabeneck L., Risser J.M., Crane M.M., McCabe B.K. and Worsley J.B.,** A comparison of anthropometry and bioelectrical impedance in the estimation

of body composition in HIV-infected individuals. *Nutr. Res.*, 13, 275-285, 1993.

Roche F., Anthropometry and ultra-sound, In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 167-190), Human Kinetics, 1996.

Ross R., Leger L., Martin P. and Roy R., Sensitivity of bioelectrical impedance to detect changes in human body composition. *J. Phys.*, 67, 1643-1648, 1989.

Saxenhofer H., Scheidegger J., Descoeudres C., Jaeger P. and Horber F.F., Impact of dialysis modality on body composition in patients with end-stage renal disease. *Cl. Nephrol.*, 38, 219-223, 1992.

Schoeller A.D., Hydrometry, In Roche A.F., Heymsfield S.B. & Lohman T.G. (Eds), *Human Body Composition* (pp. 25-44), Human Kinetics, 1996.

Schols A.M., Wouters E.F., Soeters P.B. and Westerterp K.R., Body composition by bioelectrical-impedance analysis compared with deuterium dilution and skin-fold anthropometry in patients with chronic pulmonary disease. *Am. J. Nutr.*, 53, 421-424, 1991.

Segal K.R., Van Loan M., Fitzgerald P.I., Hodgdon J.A. and Van Itallie T.B., Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: A four-site cross-validation study. *Am. J. Nutr.*, 47, 7-14, 1988.

Segal K.R., Wang J., Gutin B., Pierson R.N. and Van Itallie T.B., Hydration and potassium content of lean body mass: Effects of body fat, sex, and age. *Am. J. Nutr.*, 45, 865, 1987.

Smith D., Engel B., Diskin A.M., Spanel P. and Davies S.J., Comparative measurements of total body water in healthy volunteers by online breath

deuterium measurement and other near-subject methods. *Am. J. Clin. Nutr.*, 76: 1295-1301, 2002.

Snyder W.S., Cook M.J., Nasset E.S., Karhausen L.R., Howwels G.B. and Tipton I.H., *Report of the task group on reference man: ICRP-23.* New York: Pergamon, 1984.

Spicher V., Roulet M., Schaffner C. and Schutz Y., Bioelectrical impedance analysis for estimation of fat-free mass and muscle mass in cystic fibrosis patients. *Eur. J. Ped.*, 152, 222-225, 1993.

Tanaka K., Hiyama T., Watanabe Y., Asano K., Takeda M., Hayakawa Y. and Nakadomo F., Assessment of exercise-induced alterations in body composition of patients with coronary heart disease. *Eur. J. Phys.*, 66, 321-327, 1993.

Thomas L.D., D. Van Der Velde and Schloeb P.R., Optimum doses of deuterium oxide and sodium bromide for the determination of total body water and extracellular fluid. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 9: 581-584, 1991.

Vaswani A., Vartsky D., Ellis K.J., Yasumura S. and Cohn S.H., Effects of caloric restriction on body composition and total body nitrogen as measured by neutron activation. *Metab.*, 32: 185-188, 1983.

Waki M., Kral J.G., Mazariegos M., Wang J., Pierson R.N. and Heymsfield S.B., Relative expansion of extracellular fluid in obese vs. nonobese women. *Am. J. Phys.*, 261, E199-E203, 1991.

Wang Z., Pierson R.N.J. and Heymsfield S.B., The five level model: a new approach to organizing body composition research. *Am. J. Clin. Nutr.*, 56: 19-28, 1992.

Wang J. and Pierson R.N.J., Disparate hydration of adipose and lean tissue require a new model for body water distribution in man. *J. Nutr.*, 106: 1687-1693, 1976.

Wells J.C.K., Douros I., Fuller N. J., Elia M. and Dekker L., Assessment of body volume using three-dimensional photonic scanning. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 904: 247-254, 2000.

Weltman A., Seip R.L. and Tran Z.V., Practical assessment of body composition in adult obese males. *Hum. Biol.*, 59, 523-535, 1987.

Williams M.H., *Nutrition for Health, Fitness & Sport.* Ελληνική Έκδοση: Συντώσης Λ., Διατροφή, Υγεία, Ευρωστία και Αθλητική Απόδοση, Ιατρικές εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης, 2003.

Wilmore K.M., McBride P.J. and Wilmore J.H., Comparison of bioelectric impedance and near-infrared interactance for human body composition assessment in a population of self-perceived overweight adults. *Int. J. Ob.*, 18, 375-381, 1994.

Zillikens M.C., van den Berg J.W., Wilson J.H., Rietveld T. and Swart G.R., The validity of bioelectrical impedance analysis in estimating body water in patients with cirrhosis. *J. Hepat.*, 16, 59-65, 1992.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΠΤΥΧΙΑ
ΣΟΝΑΤΟΣ ΣΕ ...

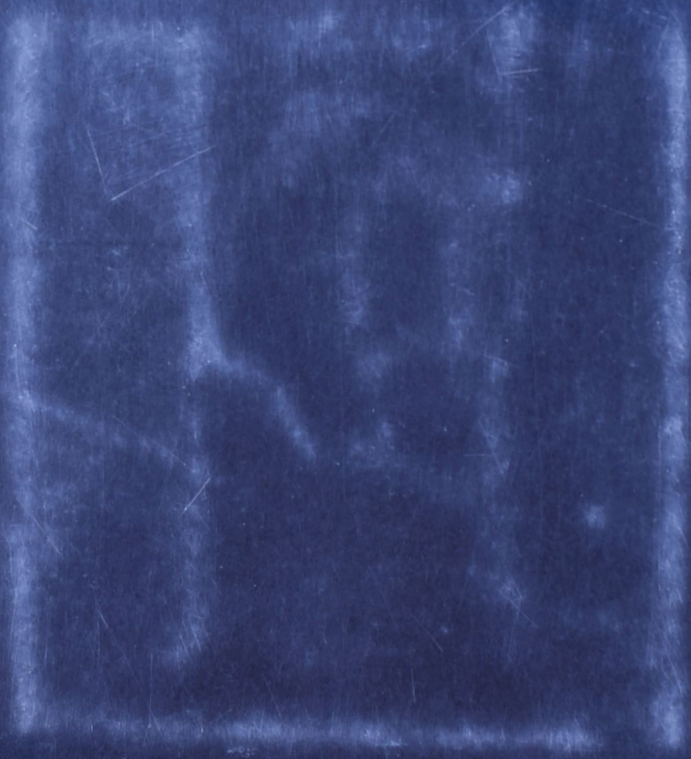
ΑΔΑΜ Μ.

13087

10059

**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



★ 1 3 0 8 7 ★