

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΜΕΣΣΗΝΗ

ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΟΛΙΚΟΥ
ΣΩΜΑΤΙΚΟΥ ΛΙΠΟΥΣ ΣΕ ΠΑΙΔΙΑ ΚΑΙ ΕΦΗΒΟΥΣ.**



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- ΣΥΝΤΩΣΗΣ Α. (ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ)
- ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΥ Ε.
- ΧΙΟΥ Α.

ΑΘΗΝΑ, 2007

Περιεχόμενα.

I. Εισαγωγή	3
II. Μέθοδοι και σύγκριση.....	15
A. Ανθρωπομετρικές μέθοδοι	15
Ύψος.....	15
Βάρος.....	16
Δείκτης μάζας σώματος	16
Δερματοπτυχές	18
Περιφέρειες	20
B. Μέθοδοι μέτρησης σωματικού νερού και ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης	21
Ανάλυση Βιοηλεκτρικής Εμπέδησης (BIA).....	21
Μέτρηση Ολικού σωματικού νερού με τη χρήση ραδιενεργών ισοτόπων.....	31
Μέθοδος μέτρησης ολικού σωματικού καλίου.....	33
Μέθοδος ενεργοποίησης νετρονίων.....	35
Γ. Μέθοδοι μέτρησης όγκου σώματος	37
Υποβρύχια μέτρηση βάρους	37
Πληθυσμογραφία μετατόπισης αέρα (BOD POD).....	38
Δ. Μέθοδοι απεικόνισης.....	42
DEXA.....	42
Μαγνητική τομογραφία	47
Αξονική τομογραφία.....	50
III. Γενικά συμπεράσματα.....	52
IV. Επίλογος.....	59
V. Παράρτημα I.....	60
VI. Πίνακας επεξήγησης συντμήσεων και όρων.....	63
Παραπομπές.....	65
Βιβλιογραφία.....	70

Ευχαριστώ τους καθηγητές μου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου.

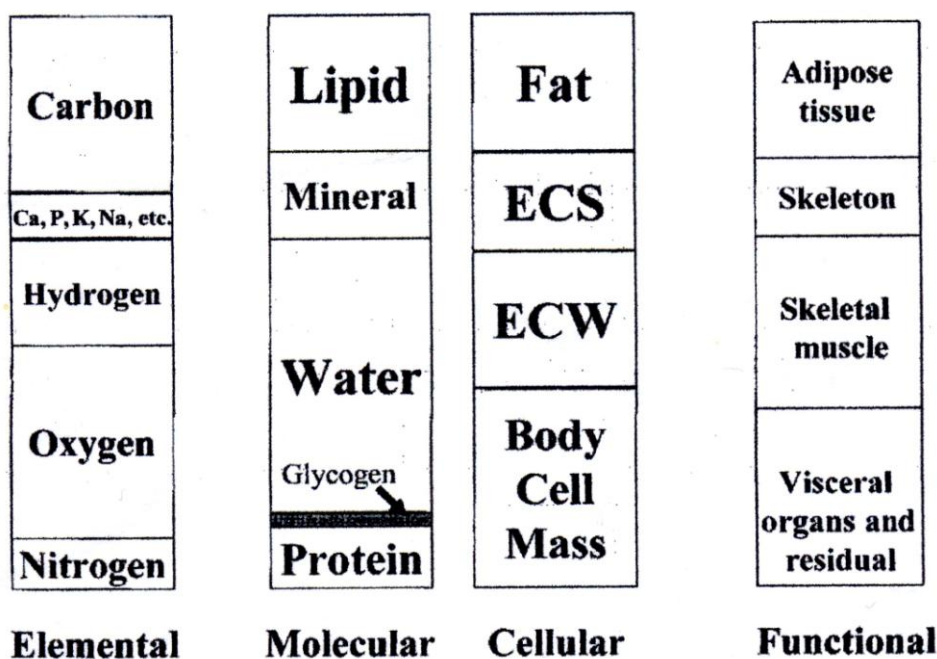
Αναστασία Μεσσήνη.

Ι.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η μελέτη της παχυσαρκίας έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία μιας και η πάθηση αυτή έχει πάρει επιδημιολογικό χαρακτήρα στις χώρες του πρώτου κόσμου. Μελέτες επί μελετών έχουν γίνει για να εξεταστεί η σχέση μεταξύ υπερβολικού σωματικού λίπους και διαφόρων παθήσεων που μπορούν να οδηγήσουν έως και στο θάνατο τα άτομα που χαρακτηρίζονται παχύσαρκα. Πιο ανησυχητικό φαινόμενο από όλα όμως είναι η αύξηση της παχυσαρκίας σε παιδιά και εφήβους που παρατηρείται σε μεγαλύτερο βαθμό σήμερα από ποτέ άλλοτε. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής, οι λύσεις του εύκολου φαγητού που πολλές φορές υιοθετούνται από τους γονείς εξ' αιτίας του φορτωμένου προγράμματός τους και η υιοθέτηση δραστηριοτήτων που ευνοούν την καθιστική ζωή (τηλεόραση, υπολογιστές) οδηγούν σε αύξηση του βάρους στις μικρές ηλικίες οι οποίες αργότερα μπορούν να εξελιχθούν σε παχυσαρκία και να προδιαθέσουν το άτομο για μια σειρά ασθενειών που μπορεί να εκδηλωθούν σε αργότερη φάση της ζωής του με ότι αρνητικές συνέπειες αυτό μπορεί να έχει. Αλλά τι είναι η παχυσαρκία; Παχύσαρκο χαρακτηρίζεται ένα άτομο το οποίο έχει αφύσικα υψηλό ποσοστό σωματικού λίπους. Υπέρβαρο είναι ένα άτομο που παρουσιάζει μια αύξηση στο βάρος του πάνω από ένα όριο που συνδέεται με το ύψος και η οποία όταν είναι μεγάλη καταλήγει στην παχυσαρκία. Το επιπλέον βάρος και η κατανομή του λίπους είναι χρήσιμοι δείκτες για την πρόβλεψη των κινδύνων της αυξημένης θνησιμότητας και της εμφάνισης ασθενειών που συνδέονται με την παχυσαρκία όπως καρδιαγγειακών παθήσεων, υψηλής πίεσης και υπέρτασης, ασθενειών της χοληδόχου κύστης και ορισμένων μορφών καρκίνου. Οι ασφαλιστικές εταιρείες έχουν κατ' επανάληψη τονίσει τον αυξημένο κίνδυνο της θνησιμότητας που σχετίζεται με την παχυσαρκία. Οι στατιστικές τους δείχνουν ότι τα υπέρβαρα άτομα έχουν αυξημένες πιθανότητες να αναπτύξουν τις παραπάνω ασθένειες από τον υπόλοιπο πληθυσμό. Με βάση αυτές τις στατιστικές αλλά και άλλες μελέτες που έχουν γίνει, έχει συσταθεί μια μεγάλη ομάδα έρευνας πάνω στους μηχανισμούς που οδηγούν στην παχυσαρκία και την όσο το δυνατόν πληρέστερη περιγραφή των κινδύνων που αυτή ενέχει.

Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον καθορισμό του ποσοστού του σωματικού λίπους. Οι μέθοδοι αυτοί μαζί με τις συγκρίσεις αναφοράς είναι τα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους μελετητές και τους διαιτολόγους για τον υπολογισμό και την καταγραφή της σύστασης του σώματος και του ποσοστού λίπους, του ολικού σωματικού νερού, της ολικής σωματικής κυτταρικής μάζας κλπ. Οι μέθοδοι αυτές έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Παράγοντες όπως η ακρίβεια της μέτρησης, το κόστος της εξέτασης και η ευκολία χρήσης παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της καταλληλότερης για το σκοπό της μελέτης ή την πληθυσμιακή ομάδα που μας ενδιαφέρει¹. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η συγκριτική ανάλυση των μεθόδων για την μέτρηση του σωματικού λίπους σε παιδιά και εφήβους, και η εξαγωγή συμπερασμάτων όσο αφορά την καταλληλότητα χρήσης τους σε αυτή την πληθυσμιακή ομάδα, η οποία μοιάζει να είναι η πιο εύαλπη στα μακροχρόνια προβλήματα που προκύπτουν από το επιπλέον βάρος. Η σύγκριση των διαθέσιμων μεθόδων που θα ακολουθήσει θα επικεντρωθεί στην ανίχνευση αυτής που θα συνδυάζει τη μεγαλύτερη ακρίβεια με τη λιγότερη δυσκολία εφαρμογής, τη μικρότερη δυνατή καταπόνηση του εξεταζόμενου ατόμου, και το χαμηλότερο κόστος. Η χημική ανάλυση των ανθρωπίνων ιστών μας έχει παράσχει τη βάση της μοντέρνας ιατρικής και μας έχει βοηθήσει να αποκτήσουμε την περισσότερη γνώση μας πάνω στη βασική φυσιολογία και το μεταβολισμό. Η αφαίρεση μικρών τμημάτων ιστού από ένα ζωντανό οργανισμό είναι τεχνικά μια απλή υπόθεση αν και η διαδικασία δεν

είναι πάντοτε άνετη ή χωρίς κίνδυνο. Τα ευρήματα από ένα μικρό δείγμα ιστού μπορεί να βρΐθουν πληροφοριών αλλά απέχουν από το να είναι ενδεικτικά της κατάστασης του οργάνου από το οποίο προήλθαν, και ακόμα περισσότερο απέχουν από το να δώσουν ενδείξεις για ολόκληρο το σώμα. Η ανάπτυξη μη παρεμβατικών τεχνικών και μεθόδων για τον υπολογισμό της σύστασης του ανθρώπινου σώματος έχει γίνει με γνώμονα την εν δυνάμει χρήση τους ως μεθόδων πεδίου. Ο ορισμός μιας μεθόδου πεδίου δεν είναι μονοσήμαντος αλλά εξαρτάται συνήθως από τους πόρους που μας είναι διαθέσιμοι, το επίπεδο και το είδος των πληροφοριών που αναζητάμε, και τη γεωγραφική περιοχή που η μελέτη λαμβάνει χώρα. Το κλασικό μοντέλο της εκτίμησης της σωματικής σύστασης των δύο διαμερισμάτων (2-C)², χωρίζει το σωματικό βάρος σε λίπος και καθαρή μάζα. Η άμεση μέτρηση του λίπους του σώματος δεν ήταν ποτέ εύκολη υπόθεση, και παραμένει μια σημαντική πρόκληση για τις περισσότερες τεχνικές καθορισμού της σωματικής σύστασης. Αν όμως κάποιος μπορεί να ορίσει με ακρίβεια την καθαρή μάζα τότε το λίπος προκύπτει ως η διαφορά της καθαρής μάζας και του σωματικού βάρους. Τα τελευταία πενήντα χρόνια τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιούν το μοντέλο των δυο διαμερισμάτων έχουν προκύψει και κάθε μια από αυτές χρησιμοποιείται συχνά ως μέθοδος αναφοράς για νεότερες. Αυτές οι μέθοδοι είναι βασισμένες στη μέτρηση της πυκνότητας του σώματος με υποβρύχια μέτρηση του βάρους (UWW), της μέτρησης της σωματικής κυτταρικής μάζας με ολική μέτρηση του καλίου, και της μέτρησης του ολικού σωματικού νερού με τη διάλυση ισοτόπων³. Καθώς νέες μέθοδοι και τεχνικές αναπτύχθηκαν το βασικό μοντέλο των δυο διαμερισμάτων εξελίχθηκε σε πολυδιαμερισματικά μοντέλα εκτίμησης σύστασης σώματος.



Εικόνα 1 Παραδείγματα πολυδιαμερισματικών μοντέλων εκτίμησης της σύστασης του σώματος

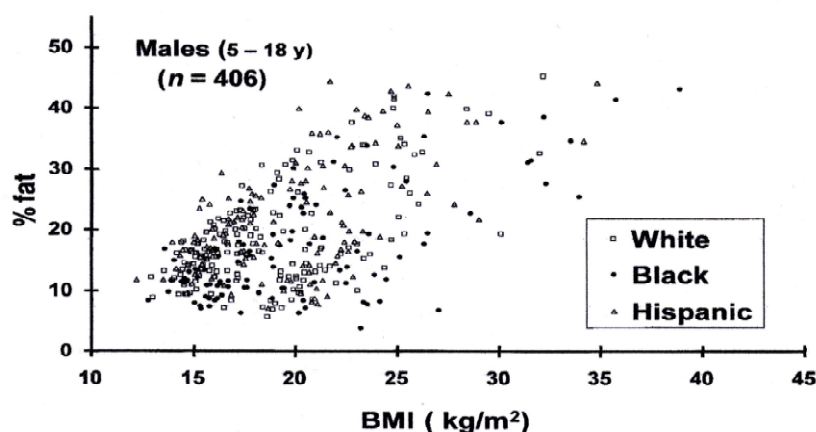
Το 1985 οι Garrow και Webster προτεΐναν πέντε παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για τον ορισμό της ιδανικής μεθόδου για χρήση σε πεδίο. Αυτοί είναι:

- α) το αρχικό κόστος,
- β) η εκπαίδευση του χειριστή,
- γ) το κόστος λειτουργίας και συντήρησης,
- δ) η ακρίβεια των μετρήσεων και
- ε) η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Η επιλογή ενός μοντέλου υπολογισμού της σύστασης του σώματος συνήθως επιβάλλει και τις μεθόδους που απαιτούνται, ανάλογα με τον τύπο και την ποιότητα των πληροφοριών που αναζητούμε. Αν για παράδειγμα μας ενδιαφέρει μόνο το ύψος και το βάρος, τότε αυτά τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν με τη χρήση μόνο μιας ζυγαριάς και μιας μεζούρας. Αν όμως ο σκοπός μας είναι ο καθορισμός της μάζας του λίπους ή τα σπλαχνικά συστατικά ή αν και κατά πόσον υπάρχει απώλεια οστικής μάζας ή ανώμαλη κατανομή νερού (σε περιπτώσεις οιδήματος ή αφυδάτωσης) τότε πιο εξειδικευμένες μέθοδοι απαιτούνται και πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Μια γενικότερη κατηγοριοποίηση των μεθόδων υπολογισμού της σωματικής σύστασης μπορεί να γίνει ως εξής:

- Ανθρωπομετρικές,
- Μετρήσεις όγκου σώματος
- Μέθοδοι μέτρησης σωματικού νερού και ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης,
- Μέθοδοι απεικόνισης.

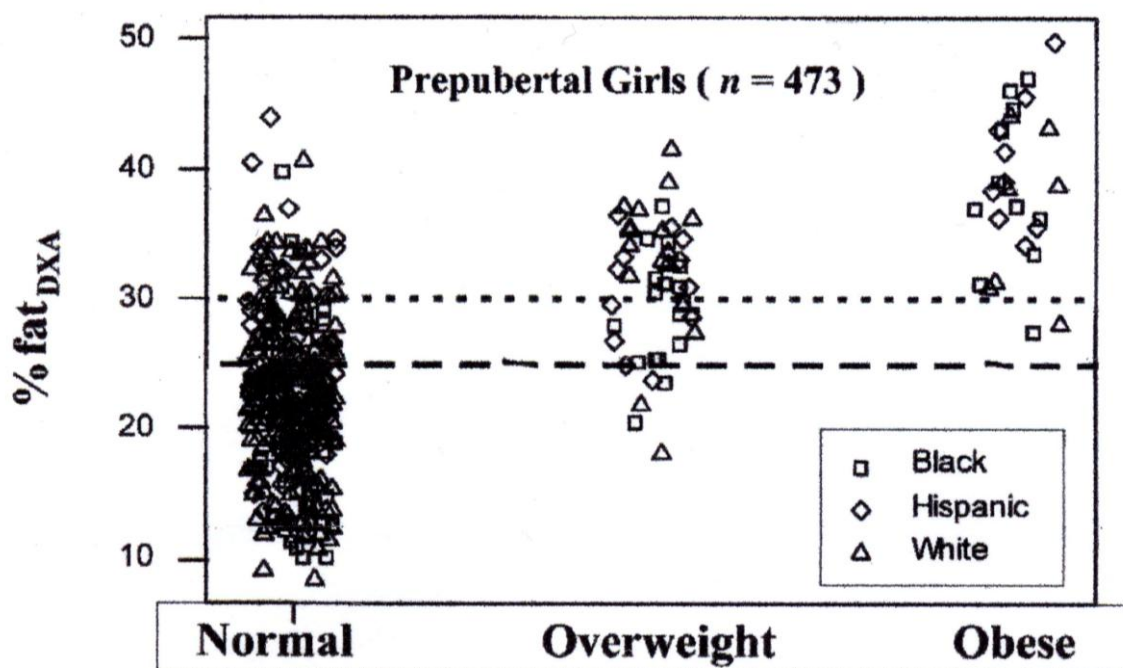
Οι ανθρωπομετρικές μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν τη μέτρηση του βάρους (Wt), του ύψους (Ht), των περιφερειών και μηκών διαφόρων σημείων του σώματος, καθώς και τη μέτρηση των δερματοπτυχών. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων παρουσιάζονται συνήθως ως εκατοστιαίες μονάδες για κάθε φύλλο και σπανιότερα κατά εθνότητα. Αν και πολλοί διαφορετικοί δείκτες σχέσης ύψους και βάρους έχουν αναπτυχθεί, ο δείκτης μάζας σώματος (Body Mass Index BMI) που ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους δια του τετραγώνου του ύψους (w/h^2) είναι αυτός που χρησιμοποιείται κατά κόρον. Ο δείκτης μάζας σώματος ασκεί τέτοια γοητεία στους ερευνητές γιατί πληροί τις πρώτες τέσσερις από τις πέντε συνθήκες καθορισμού της ιδανικής μεθόδου. Τα δύο όργανα που απαιτούνται (ζυγαριά και μεζούρα) είναι φθηνά έχουν μηδενικό κόστος συντήρησης απαιτούν ελάχιστη εκπαίδευση και οι τιμές που δίνουν μπορούν να ληφθούν με μεγάλη ακρίβεια σε πολλές διαδοχικές μετρήσεις. Το ερώτημα που μένει να απαντηθεί είναι η ακρίβεια του δείκτη μάζας σώματος στον καθορισμό του σωματικού λίπους για το άτομο που εξετάζεται ειδικά αν αυτά είναι παιδιά. Μελέτες σύγκρισης έχουν δείξει ότι ειδικά στα παιδιά τα αποτελέσματα του δείκτη μάζας σώματος αποκλίνουν από αυτά των μεθόδων απεικόνισης σε ποσοστό που κυμαίνεται από 5 έως 20%.



Εικόνα 2 Η κατανομή του δείγματος δείχνει τη μεγάλη απόκλιση που έχει η χρήση του δείκτη μάζας σώματος στις ηλικίες που μας ενδιαφέρουν.

Σε ενήλικες οι αποκλίσεις μεταξύ των εκτιμήσεων εξακολουθούν να υπάρχουν αλλά είναι μικρότερες. Για αυτή τη διαφορά η εξήγηση που μπορεί να δοθεί είναι ότι το

ύψος ενός παιδιού αλλάζει με γρήγορο και απρόβλεπτο ρυθμό σε αντίθεση με τον ενήλικο όπου το ύψος του παραμένει αναλλοίωτο. Εξ αιτίας αυτής της ασυμφωνίας έχει προκύψει η συζήτηση που κατά πόσον ο δείκτης σωματικής μάζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για τον έλεγχο της προδιάθεσης παχυσαρκίας στα παιδιά και όχι να ορίσει ποσοτικά το ποσοστό του σωματικού λίπους. Για να ελεγχθεί αυτή η χρήση μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγκριτικές μελέτες του Αμερικανικού Κέντρου πρόληψης και ελέγχου ασθενειών και οι οποίες αναφέρονται σε παιδιά προεφηβικής ηλικίας. Από τα αποτελέσματα βλέπουμε ότι παιδιά με φυσιολογικό δείκτη μάζας σώματος στην

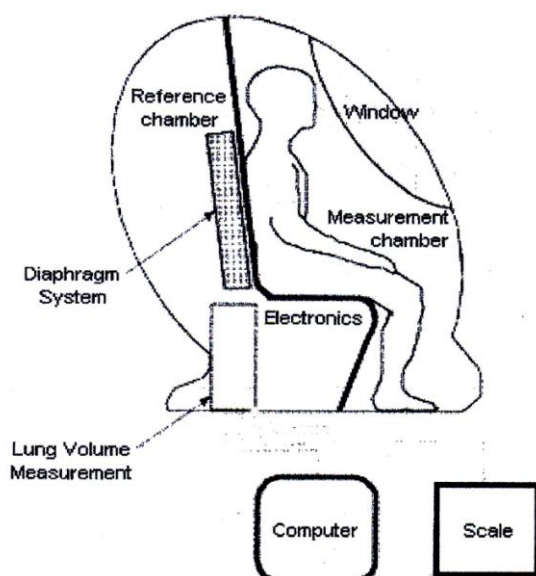


Εικόνα 3 Πίνακας αποτελεσμάτων των συγκριτικών μελετών του Αμερικανικού κέντρου πρόληψης και ελέγχου ασθενειών.

πραγματικότητα είχαν υψηλότερο ποσοστό σωματικού λίπους, ενώ κάποια παιδιά με το δείκτη στην κατηγορία του υπέρβαρου μπορεί να είχαν είτε κανονικό είτε αυξημένο ποσοστό σωματικού λίπους. Σε παιδιά που ο δείκτης σωματικής μάζας ήταν στην ανώτερη τιμή το ποσοστό λίπους ξεπερνούσε το 30%. Βασισμένοι λοιπόν σε καθαρά επιστημονικές εκτιμήσεις, βλέπουμε ότι είναι προτιμότερη η χρήση άλλων μη παρεμβατικών μεθόδων για την εκτίμηση του λιπώδους ιστού σε παχύσαρκα παιδιά από τον δείκτη σωματικής μάζας.

Η δεύτερη πιο κοινή ανθρωπομετρική τεχνική για την εκτίμηση του σωματικού λίπους είναι η μέτρηση του υποδόριου λίπους μέσω της μέτρησης των δερματοπτυχών σε διάφορα σημεία του σώματος. Για την μέτρηση αυτή χρησιμοποιούνται φθηνά μηχανικά δερματοπτυχόμετρα. Τα δεδομένα που προκύπτουν από τη μέτρηση αυτή εξαρτώνται πάρα πολύ από το χειριστή του δερματοπτυχόμετρου. Η ακρίβεια αυτής της μεθόδου όσον αφορά την εκτίμηση του σωματικού λίπους συζητάται εδώ και πολλά χρόνια. Η μέθοδος μέτρησης των δερματοπτυχών μας παρέχει στην καλύτερη περίπτωση μια μέτρηση του στρώματος του υποδόριου λίπους που καλύπτει το σώμα. Ελλείπει άλλων μεθόδων, μέσα σε μια

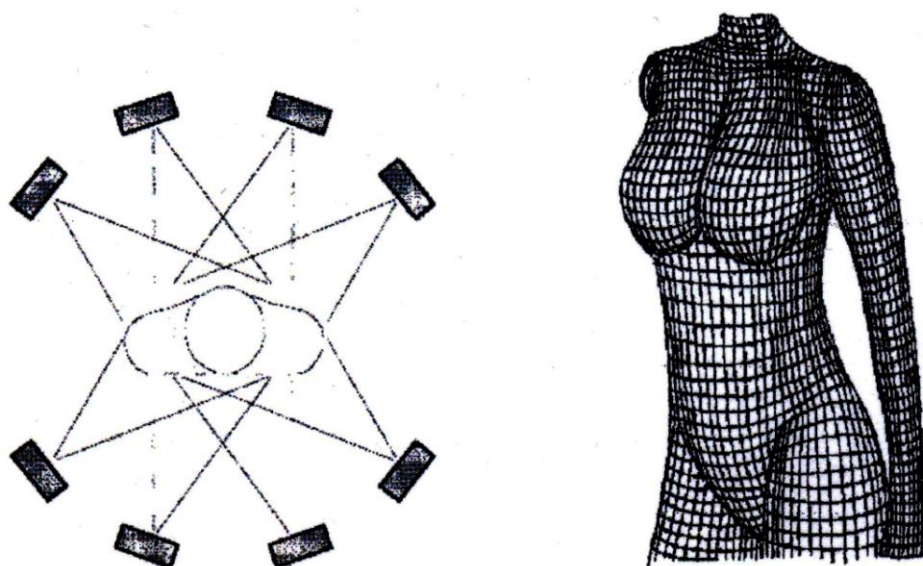
μελέτη πληθυσμού, οι δερματοπτυχές (χωρίς να έχουν μετατραπεί σε εκτιμήσεις σωματικού λίπους) μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση αλλαγών του υποδόριου λίπους στο δείγμα. Δυστυχώς πάνω από εκατό εξισώσεις πρόβλεψης έχουν εκδοθεί στη διάρκεια ύπαρξης της μεθόδου, κάτι που είναι ενδεικτικό της αδυναμίας της να δώσει μια γενική εκτίμηση του σωματικού λίπους. Εναλλακτικά μέθοδοι υψηλής τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί για να αντικαταστήσουν τα μηχανικά δερματοπτυχόμετρα όπως οι υπέρηχοι, η διαδραστικότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας και η ανίχνευση διασποράς φωτονίων. Η χρήση αυτών των συσκευών έχει αυτοματοποιήσει την ανάλυση και έχει μειώσει τα λάθη που οφείλονται στον χειριστή του δερματοπτυχόμετρου, αλλά παρουσιάζουν ακόμη προβλήματα σε ότι έχει να κάνει με την εξαγωγή γενικών εκτιμήσεων για το ολικό σωματικό λίπος⁴. Στις μεθόδους υπολογισμού του σωματικού όγκου υπάρχει η υποβρύχια μέτρηση βάρους (UWW) που αναπτύχθηκε το 1940 και βασίστηκε στη μέθοδο των δύο διαμερισμάτων (2-C) όπου το σωματικό βάρος χωρίζεται σε δυο τμήματα το λίπος και την καθαρή μάζα. Η υποβρύχια μέτρηση βάρους έχει λάβει τη θέση της μεθόδου αναφοράς για πολλά εργαστήρια. Τα όργανα που απαιτούνται για μια τέτοια μέτρηση είναι μέτριοι κόστους αλλά έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και απαιτούν καλά εκπαιδευμένους χειριστές. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το εξεταζόμενο άτομο πρέπει να καταδυθεί πλήρως στη δεξαμενή του νερού και να εκπνεύσει όλο τον αέρα των πνευμόνων του για να αντισταθμίσει την αναπόφευκτη μέτρηση του όγκου του αέρα εντός τους. Αυτή η διαδικασία καθιστά αυτή τη μέθοδο άκρως ακατάλληλη για παιδιά πολύ νεαρής ηλικίας. Άλλος σημαντικός περιορισμός της μεθόδου είναι ότι λειτουργεί βασισμένη στην θεώρηση ότι η πυκνότητα της καθαρής μάζας είναι σταθερή, ενώ είναι πλέον πασίγνωστο ότι η σύσταση της καθαρής μάζας ποικίλει ανάλογα με το φύλλο την εθνικότητα, την ανάπτυξη, τη σεξουαλική ωριμότητα, τη φυσική δραστηριότητα και την ηλικία. Με το πέρασμα των χρόνων οι δυσκολίες της λήψης μετρήσεων με τη χρήση της μεθόδου της υποβρύχιας μέτρησης βάρους την έχουν κατατάξει στις μεθόδους που δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέθοδοι πεδίου⁵. Παρόλα αυτά δύο νέες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση του όγκου του σώματος και οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να εξελιχθούν σε μεθόδους πεδίου. Στην πρώτη χρησιμοποιείται ένα όργανο που βασίζεται στις αρχές της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα και αποτελείται από δύο θαλάμους.



Εικόνα 4 Σχηματική αναπαράσταση ενός θαλάμου πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα.

Στον ένα μπαίνει το άτομο που εξετάζεται ενώ ο άλλος λειτουργεί σαν σημείο αναφοράς. Οι όγκοι στους δύο θαλάμους αλλάζουν οριακά και η διαφορά της πίεσης μεταξύ τους καταγράφεται. Ο όγκος του σώματος του ατόμου που εξετάζεται υπόκειται σε κάποιες διορθώσεις για τις ισοθερμικές ιδιότητες του αέρα που υπάρχει στους πνεύμονες και κοντά στο δέρμα. Το προφανές πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το άτομο που εξετάζεται δεν χρειάζεται να βυθιστεί στη δεξαμενή νερού αν και πρέπει να φορά μαγιό και κολυμβητικό σκούφο. Η διάρκεια της μέτρησης είναι μόλις λίγα λεπτά. Οι προκαταρκτικές μελέτες της χρήσης του πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα έχουν δείξει πολλή καλή συσχέτιση με τη μέθοδο της υποβρύχιας μέτρησης βάρους τόσο σε υγιείς ενήλικες όσο και σε παιδιά⁶.

Η δεύτερη νέα μέθοδος για τη μέτρηση του όγκου του σώματος είναι βασισμένη σε μια τρισδιάστατη αναπαράσταση των καμπύλων της επιφάνειας του σώματος με τη χρήση σαρωτών φωτονίων. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου για τη μελέτη της σωματικής σύστασης είναι πολύ πρόσφατη και πολύ λίγα άτομα έχουν υποβληθεί σε αυτή τη μέτρηση. Στην εικόνα 5 περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο αναπαράγεται η τρισδιάστατη απεικόνιση του σώματος και ο γενικός σχηματισμός των σαρωτών. Ξανά και σε αυτή τη μέθοδο το βασικό πλεονέκτημα είναι ότι το άτομο δε χρειάζεται να βυθιστεί κάτω από το νερό αλλά ούτε και να εισέλθει σε ένα θάλαμο μικρού όγκου. Ο χρόνος που διαρκεί η σάρωση ολόκληρου του σώματος είναι περίπου 15 δευτερόλεπτα. Σήμερα η ακρίβεια της μεθόδου για την μέτρηση του όγκου σώματος είναι περίπου $\pm 3\%$ ποσοστό πολύ υψηλό για να επιτρέψει κάποιου είδους σοβαρή εκτίμηση για το σωματικό λίπος. Οι επιδόσεις της όσον αφορά στην αξιοπιστία των μετρήσεων παραμένει άγνωστη. Αλλά αν η αξιοπιστία των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων και η ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων έφταναν περίπου στο 1% για την πρώτη και μικρότερη του 5% για τη δεύτερη θα κάναν τη μέθοδο αυτή συγκρίσιμη της υποβρύχιας μέτρησης βάρους. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των αλλαγών στο περίγραμμα του σώματος οι οποίες μπορεί να αποτελέσουν ενδείξεις για την αλλαγή στην κατανομή του υποδόριου λίπους⁷.



Εικόνα 5 Σχηματική απεικόνιση διάταξης των σαρωτών φωτονίων και της απεικόνισης του σώματος που προκύπτει.

Μέθοδοι μέτρησης σωματικού νερού και ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης.

Για τους υγιείς ενήλικες και τα μεγαλύτερα παιδιά το περιεχόμενο του νερού στην καθαρή μάζα είναι σχετικά σταθερό. Σε κάθε κιλό καθαρής μάζας εμπεριέχονται 0,732 λίτρα νερού⁶. Έτσι οποιαδήποτε μέθοδος μέτρησης βασίζεται στον υπολογισμό του ολικού σωματικού νερού εμμέσως μας παρέχει και μια εκτίμηση για την καθαρή μάζα. Το ποσοστό λίπους στο σώμα μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον τύπο:

$$\% \text{λίπους} = 100 \times (Wt - FFM_{TBW}) / Wt.$$

Όπου Wt είναι το ολικό σωματικό βάρος και FFM_{TBW} η καθαρή μάζα όπως αυτή εξάγεται από τις μετρήσεις του ολικού νερού.

Οι πρώτες μέθοδοι μέτρησης του ολικού νερού χρησιμοποιούσαν ένα ραδιενεργό ισότοπο του νερού. Σήμερα ο υπολογισμός γίνεται με τη χρήση σταθερών ισωτόπων του νερού (δευτέρου, ^{18}O). Μια τεχνική με το όνομα αρχές διάλυσης λειτουργεί με την χορήγηση μικρής δόσης ανιχνευτή ισωτόπου δια μέσου του στόματος. Αφού αφεθεί να εισχωρήσει στο νερό του σώματος για κάποιες ώρες η συγκέντρωσή του μετράται στο πλάσμα στο σάλιο και στα ούρα. Οι περιορισμοί αυτής της μεθόδου στη χρήση της στο πεδίο είναι η χορήγηση της ακριβούς δόσης του ανιχνευτή, η συγκέντρωση των δειγμάτων των υγρών και η σωστή αποθήκευσή τους, και η αναλυτική τους επεξεργασία πριν την αποστολή στο κεντρικό εργαστήριο όπου συνήθως αναλύονται μέσω φασματομετρίας μάζας. Σε αυτή τη μέθοδο μεγάλη προσοχή απαιτείται στις λεπτομέρειες του κάθε βήματος. Η παρουσία ενός πολύ καλά εκπαιδευμένου τεχνικού είναι απαραίτητη. Το μεγαλύτερο κόστος σε αυτή τη μέθοδο είναι για το ισότοπο και τη φασματομετρία. Επίσης τα αποτελέσματα δεν είναι άμεσα διαθέσιμα και έτσι αυτή η μέθοδος δεν προσφέρεται για περιπτώσεις που ίσως να απαιτούν άμεσες ιατρικές αποφάσεις⁸.

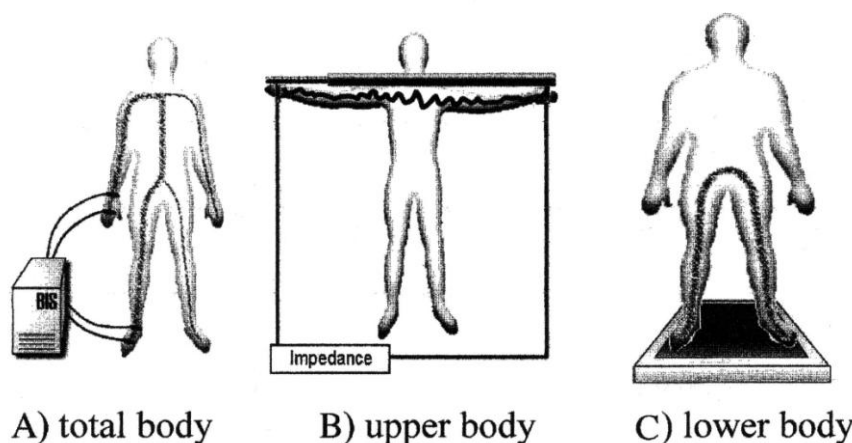
Διάφορες εναλλακτικές μέθοδοι για τον υπολογισμό του σωματικού νερού έχουν αναπτυχθεί βασισμένες στις ηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών. Η πιο κοινή από τις μεθόδους αυτές και πιθανά η πιο πρακτική για χρήση πεδίου είναι η ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA). Η τεχνική αυτή βασίζεται στην αρχή βάσης της οποίας όταν ένα ηλεκτρικό ρεύμα περνά μέσα από το σώμα, η πτώση της τάσης μεταξύ δυο ηλεκτροδίων είναι ανάλογη του ποσού του υγρού του σώματος στη συγκεκριμένη περιοχή. Αν και μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν πρακτικά σε οποιαδήποτε συχνότητα, τα 50 KHz έχουν καθιερωθεί ως η συχνότητα αναφοράς για τα όργανα που χρησιμοποιούνται. Το κόστος ενός οργάνου μέτρησης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι σχετικά χαμηλό (1/30 αυτού ενός φασματομετρητή μάζας), η λειτουργία του δεν απαιτεί προσωπικό υψηλής εκπαίδευσης, και τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν άμεσα έχουν καλή αξιοπιστία. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών όμως και η βιολογική τους ερμηνεία πρέπει να θεωρούνται και να χρησιμοποιούνται με προσοχή. Οι μετρήσεις της βιοηλεκτρικής εμπέδησης γίνονται με την τοποθέτηση δυο ηλεκτροδίων στη μέση και τον αστράγαλο (εικόνα 6) έτσι ώστε ένα μικρής εντάσεως εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα της τάξεως των 800 μA να μπορεί να περάσει δια μέσου του σώματος. Η μέτρηση της πτώσης της τάσης μας βοηθά να υπολογίσουμε την αντίσταση μιας και η ένταση παραμένει η ίδια. Για να γίνει εκτίμηση του όγκου του ολικού σωματικού νερού τρεις υποθέσεις χρησιμοποιούνται. Η πρώτη είναι η θεώρηση ότι το σώμα συμπεριφέρεται ως ένας κυλινδρικός αγωγός, η δεύτερη είναι ότι το μήκος αυτού του αγωγού είναι ανάλογο του ύψους του ατόμου που εξετάζεται και ότι η ένταση του ρεύματος μπορεί να μη ληφθεί υπ' όψιν. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο δείκτης της εμπέδησης (Ht/R^2) ή

θεωρείται ανάλογος του ολικού σωματικού νερού. Δραστηριότητες που έχουν γίνει έως και τέσσερις ώρες πριν την εξέταση όπως μέτρια ή εντατική άσκηση, υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ ή υπερβολική εφίδρωση, μπορούν να αλλοιώσουν σημαντικά τις μετρήσεις⁹.

Άλλοι ερευνητές έχουν επιλέξει την εναλλακτική προσέγγιση που χρησιμοποιεί τόσο την αντίσταση (R) όσο και την ένταση (X_c) ως συνιστώσες της μετρώμενης εμπέδησης. Η συνιστώσα της έντασης θεωρείται ότι προκύπτει από τις ιδιότητες χωρητικότητας των κυττάρων οι οποίες αλλάζουν την γωνία φάσης της τάσης και του ρεύματος. Η γωνία φάσης ορίζεται ως η συνεφαπτομένη του λόγου της έντασης δια της αντίστασης $\{\varphi = \arctan(X_c/R)\}$. Σε υγιείς ενήλικες η γωνία φάσης στα 50 KHz είναι συνήθως πάνω από 8 μοίρες, ενώ σε κλινικές συνθήκες μπορεί να είναι χαμηλότερη κατά περίπου 2-3 μοίρες.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω η διαδικασία εξέτασης του ατόμου είναι ολιγόλεπτη και εύκολη στην πραγματοποίησή της¹⁰. Η κύρια αβεβαιότητα της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι ότι αγνοούμε τελείως την αναλογία του ρεύματος που περνά μέσα από τα κύτταρα στα 50 KHz. Για να ξεπεραστεί αυτή η αβεβαιότητα αναπτύχθηκε η φασματογραφία της βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Οι τιμές της αντίστασης και της έντασης για ένα ευρύ πεδίο συχνοτήτων (5 KHz έως 1 MHz) καταγράφονται και τοποθετούνται μαθηματικά σε ένα μοντέλο παράλληλων αντιστάσεων που χρησιμοποιείται για να εξαχθούν εκτιμήσεις για το ολικό σωματικό νερό αλλά και το εξωκυτταρικό νερό. Ένα μειονέκτημα τόσο της ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης όσο και της φασματογραφίας βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι το γεγονός ότι συνιστούν έμμεσες μεθόδους υπολογισμού της σωματικής σύστασης και ως τέτοιες πρέπει να ρυθμίζονται διορθωτικά με βάση κάποιο σημείο αναφοράς. Επίσης οι ρυθμιστικές εξισώσεις που έχουν διατυπωθεί για την ανάλυση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης πλησιάζουν σε αριθμό εκείνες που έχουν αναπτυχθεί για τις δερματοπτυχές.

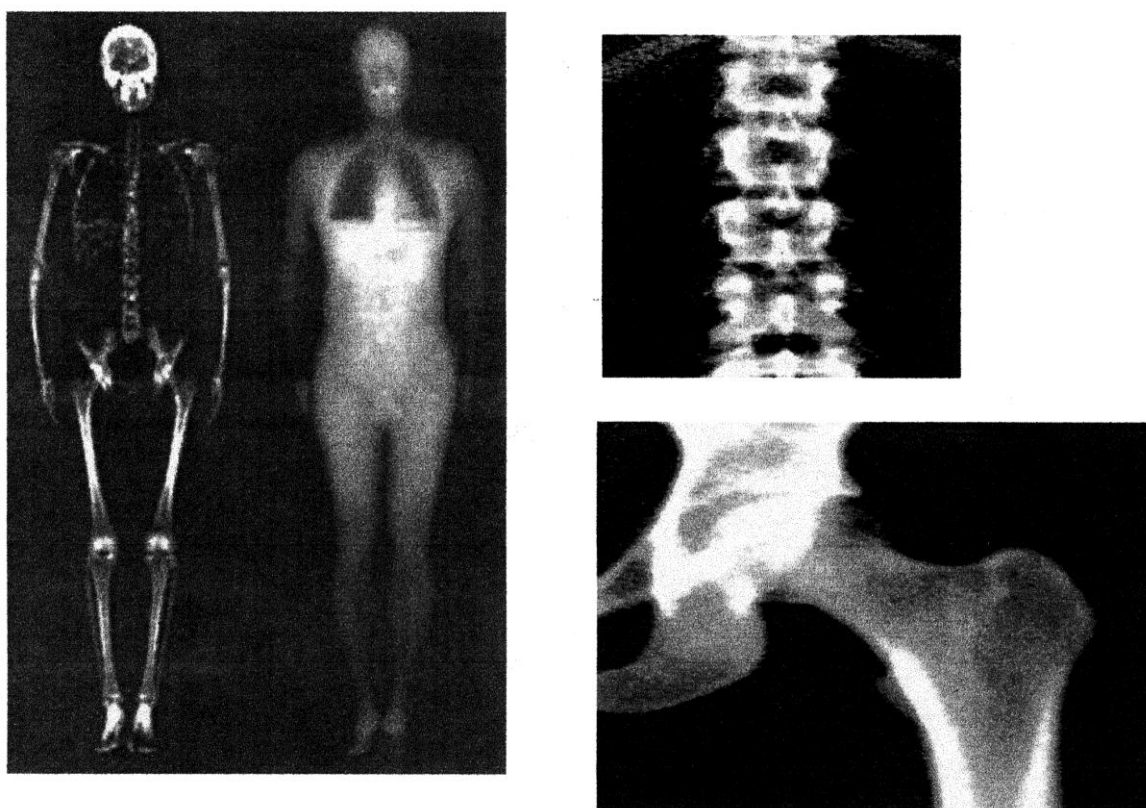
Μια ενδιαφέρουσα παράμετρος της τεχνολογίας της ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι η προσβασιμότητα του κοινού στην αγορά της. Αν και η αξιοπιστία των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων της ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι καλή, η ακρίβεια στον υπολογισμό του σωματικού λίπους ενός ατόμου εξακολουθεί να μην είναι ξεκάθαρη. Επίσης υπό συζήτηση είναι το κατά πόσον τα αποτελέσματα των επί μέρους σωματικών μετρήσεων είναι αντιπροσωπευτικά όλου του σώματος άσχετα από τις διαστάσεις του¹¹.



Εικόνα 6 Σχηματική αναπαράσταση τοποθέτησης ηλεκτροδίων για τη μέτρηση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Α) όλου του σώματος, Β) του πάνω μέρους C) του κάτω μέρους.

Στις μεθόδους απεικόνισης τρεις κύριες μέθοδοι είναι αυτές που χρησιμοποιούνται. Η αξονική τομογραφία (CT) η μαγνητική τομογραφία (MRI) και η μέτρηση απορρόφησης ακτίνων Χ διπλής ενέργειας (DEXA). Σε γενικές γραμμές αυτές οι μέθοδοι δεν μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν ως μέθοδοι πεδίου για την ανάλυση της σύστασης του σώματος λόγω του υψηλού κεφαλαίου που απαιτείται για τον εξοπλισμό, της αδυναμίας μετακίνησης αυτού του εξοπλισμού, του υψηλά εκπαιδευμένου τεχνικού προσωπικού που απαιτεί ο χειρισμός αυτών των μηχανημάτων, και του υψηλού κόστους συντήρησής τους ιδιαίτερα για τον αξονικό και μαγνητικό τομογράφο. Επίσης μόνο οι κατασκευαστές των μηχανημάτων DEXA έχουν αναπτύξει λογισμικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καθημερινή βάση για τον υπολογισμό της σύστασης του σώματος.

Πολλοί επιστήμονες θεωρούν τις μεθόδους απεικόνισης ως συγκρίσεις αναφοράς για την σύγκριση της ακρίβειας των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων των υπολοίπων μεθόδων. Καμία άλλη μέθοδος δεν μπορεί να έρθει κοντά στα αποτελέσματα αυτών εκτός από τη μέθοδο ανάλυσης ενεργοποίησης νετρονίων. Η κυρίως χρήση των αξονικών και μαγνητικών τομογράφων είναι για την ανίχνευση όγκων και την εκτίμηση αφύσικων ή κατεστραμμένων ανατομικών στοιχείων. Μόνο το μέγεθος και η πολυπλοκότητα αυτών των οργάνων τα αποκλείουν από τη χρήση τους στο πεδίο. Τελευταία μικρότερα μηχανήματα έχουν κατασκευαστεί για μετρήσεις μερών του σώματος όπως των χεριών ή των ποδιών και αρχίζουν να χρησιμοποιούνται στα γραφεία των γιατρών. Τα όργανα της DEXA από την άλλη χρησιμοποιούνται στο πεδίο με τη μορφή κινητών κλινικών¹².



Εικόνα 7 Απεικονίσεις που έχουν ληφθεί με πυκνομετρητές DEXA

Η σύσταση του σώματος κατά την εφηβεία αποτελεί ένα δείκτη μεταβολικών αλλαγών που συμβαίνουν κατά αυτή την περίοδο της ανάπτυξης και της ωρίμανσης

και για αυτό μας παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την τρέχουσα και τη μελλοντική κατάσταση της υγείας των εφήβων. Κατά την διάρκεια της εφηβείας δραματικές ορμονικές διακυμάνσεις συμβαίνουν στο σώμα, τόσο στη σύσταση όσο και στο μέγεθός του. Η εφηβική ανάπτυξη συνήθως αναφέρεται στη χημική ωρίμανση των ιστών του σώματος, στην αλλαγή του ποσού και της κατανομής του λιπώδους ιστού, και στην αύξηση της οστικής και της καθαρής μάζας. Στην εφηβεία υπάρχει σημαντικός διμορφισμός ανάμεσα στα δύο φύλλα στη σύσταση του σώματος για τον χρόνο της διάρκειας αυτών των αλλαγών. Και τα δύο φύλλα βιώνουν ταχύτατες αυξήσεις του ολικού σωματικού λίπους, αν και στα αγόρια η αναλογία του λίπους αυξάνει πιο αργά εξ αιτίας της σύγχρονης αλλαγής στην καθαρή μάζα¹³. Από τα δεδομένα μελετών προκύπτει ότι στα κορίτσια τα επίπεδα του ολικού σωματικού λίπους αυξάνουν με ένα σχετικά σταθερό ρυθμό και από ένα μέσο όρο 5,5 Kg στην ηλικία των οκτώ σε 15 Kg στα δεκατέσσερα, όπου μέχρι τα δεκαέξι παρουσιάζει μια μείωση για να φτάσει στα 9 Kg και κατόπιν παραμένει σταθερό. Η διαδικασία των αλλαγών της εφηβείας στα αγόρια και τα κορίτσια σε ότι αφορά την καθαρή μάζα είναι μέχρι ενός σημείου αντίστροφη. Στα κορίτσια η καθαρή μάζα αυξάνει μέχρι την ηλικία των 15 και μετά παραμένει σχετικά η ίδια. Στα αγόρια από την άλλη η καθαρή μάζα αυξάνει σταθερά από τα οκτώ έως τα 18 χρόνια με μια ταχεία περίοδο αύξησης από τα 12 έως τα 15¹⁴.

Οι αλλαγές στη σύσταση του σώματος στα παιδιά είναι συνδεδεμένες με την σημαντική αύξηση των απαιτήσεων τους για ενέργεια. Η αύξηση αυτή ποικίλει ανάλογα με το φύλλο, και συμβαίνει κατά τα πρώτα στάδια της εφηβείας. Κατά την εφηβεία οι φυσικές ικανότητες αυξάνουν οδηγώντας με τη σειρά τους στην αύξηση της φυσικής δραστηριότητας η οποία έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας, γεγονός που δικαιολογεί τις αλλαγές στη σύσταση του σώματος των εφήβων¹⁵. Οι διαφορές μεταξύ των δύο φύλλων τόσο στο ρυθμό μεταβολισμού όσο και στις φυσικές ικανότητες εξηγείται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία μεγαλύτερης ποσότητας καθαρής μάζας στα αγόρια. Η παρακολούθηση της σύστασης του σώματος κατά τη διάρκεια της εφηβείας είναι σημαντική γιατί οι πληροφορίες που μας δίνει μας βοηθούν να προβλέψουμε την εξέλιξη της αργότερα, και να ανιχνεύσουμε τις λεγόμενες τάσεις της σωματικής σύστασης. Ο λιπώδης ιστός είναι ένα από τα σημαντικά συστατικά στο σώμα και είναι ενδοκρινολογικά ενεργός, αλληλεπιδρώντας με τις στεροειδείς ορμόνες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί κάποια στοιχεία της σύστασης του σώματος και οι μεταβολές τους κατά την εφηβεία αποτελούν παράγοντες κινδύνου για μια πληθώρα ασθενειών της μέσης ηλικίας όπως καρδιαγγειακές παθήσεις, σακχαρώδη διαβήτη, παχυσαρκία και οστεοπόρωση ανάμεσα σε άλλες¹⁶.

Οι συνεχόμενες εκτιμήσεις της σωματικής σύστασης κατά την εφηβεία επιτρέπουν την μελέτη των αλλαγών στις τιμές της ανάμεσα σε διαφορετικές πληθυσμικές ομάδες. Η παρακολούθηση αυτή μπορεί να οριστεί ως η συσχέτιση των μετρήσεων μιας τάσης ενός ατόμου σε δυο ή παραπάνω μετρήσεις σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Μια πληθώρα συμπερασμάτων μπορεί να εξαχθεί από αυτές τις μελέτες σε πολλά επίπεδα και με πολλές εφαρμογές. Στη σημερινή εποχή καθήκον όλων όσων ασχολούμαστε με τη διαιτολογία και τη διατροφή είναι να μπορέσουμε να δώσουμε στον κόσμο μια όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρη εικόνα για το μακροπρόθεσμο όφελος που κάποιος αναμφισβήτητα έχει όταν ακολουθεί μια υγιεινή διατροφή από μικρή ηλικία. Πρέπει να βοηθήσουμε ιδιαίτερα τους γονείς στο να καταλάβουν πως η

επιλογή των εύκολων λύσεων σε ότι αφορά τη διατροφή των παιδιών τους είναι κάτι το οποίο στο μέλλον μπορεί να στοιχίσει πολύ ακριβά στα ίδια τα παιδιά.

Η χρήση των κατάλληλων μεθόδων για την εκτίμηση της σύστασης του σώματος σε συνθήκες καθημερινές που δεν απαιτούν την αλλαγή του προγράμματος του εκάστοτε εξεταζόμενου είναι βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία σωστής διατροφικής συνείδησης στον κόσμο. Ο διαιτολόγος πρέπει να έχει τη γνώση των διαθέσιμων εργαλείων σε βάθος έτσι ώστε να μπορεί εύκολα και με σιγουριά να επιλέξει το κατάλληλο στην εκάστοτε περίπτωση.

II. ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην αναλυτική περιγραφή των μεθόδων που ακολουθεί θα παρουσιαστεί κάθε μέθοδος ανάλογα με τη γενική κατηγορία στην οποία ανήκει. Θα αναλυθεί ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται ο τρόπος χειρισμού το πρωτόκολλο εφαρμογής καθώς και συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των συναφών μεθόδων τόσο σε σχέση με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων όσο και σε σχέση με τα δεδομένα αναφοράς. Συγκρίσεις μεθόδων που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες μπορούν να γίνουν μόνο σε επίπεδο αποτελεσμάτων των μετρήσεων μιας και κάθε άλλη προσπάθεια σύγκρισης θα ήταν τουλάχιστον άτοπη. Θα ξεκινήσουμε με τις ανθρωπομετρικές μεθόδους κατόπιν θα προχωρήσουμε στις μεθόδους υπολογισμού του σωματικού νερού και βιοηλεκτρικής εμπέδησης, στις μεθόδους μέτρησης σωματικού όγκου και τέλος θα εξετάσουμε τις μεθόδους απεικόνισης. Μικρή αναφορά θα γίνει σε νέες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί την τελευταία διετία ή βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης μιας και η βιβλιογραφία για τις τελευταίες είναι εξαιρετικά περιορισμένη. Μέθοδοι όπως αυτή της τρισδιάστατης απεικόνισης του σώματος με σαρωτές φωτονίων που αναφέρθηκε πιο πάνω βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο και η ευρεία εφαρμογή τους στην κλινική έρευνα και πρακτική παραμένει ένα στοίχημα με τον εαυτό τους. Παρουσιάζουν όμως ένα ενδιαφέρον για την παρακολούθηση της πορείας σύγκλισης των τεχνολογικών επιτευγμάτων και των πρακτικών εφαρμογών που αυτά μπορούν να βρουν σε πολλά επίπεδα της καθημερινότητας. Στο τέλος της εργασίας παρατίθεται και ένα παράρτημα στο οποίο επεξηγούνται τα μοντέλα διαμερισμάτων που αποτελούν τη βάση στην εκτίμηση της σύστασης του σώματος μιας και όλες οι μέθοδοι που υπάρχουν για την εκτίμηση της σωματικής σύστασης είναι έμμεσες. Η μοναδική μέθοδος απευθείας μετρήσεως σήμερα είναι η νεκροτομή και βέβαια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί παρά μόνο για την παροχή πληροφοριών και δεδομένων και ως σημείο αναφοράς.

A. Ανθρωπομετρικές μέθοδοι. (Ύψος, βάρος, δείκτης μάζας σώματος, μέτρηση δερματοπτυχών, μέτρηση περιφερειών)

Οι ανθρωπομετρικές μέθοδοι είναι η μέτρηση του ύψους, η μέτρηση του βάρους, η μέτρηση των περιφερών σε διάφορα σημεία του σώματος όπως και η μέτρηση του πάχους των δερματοπτυχών ξανά σε επιλεγμένα σημεία πάνω στο σώμα. Οι μετρήσεις του βάρους και του ύψους συνδυάζονται για να μας δώσουν τον δείκτη μάζας σώματος (Body Mass Index BMI), ένα δείκτη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αντιπαράθεση με πίνακες αναφοράς συγκεκριμένους για το φύλλο, την ηλικία και ορισμένες φορές την εθνικότητα ή τη φυλή, για τον καθορισμό του ποσοστού του σωματικού λίπους του ατόμου που εξετάζεται.

Ύψος

Η μέτρηση του ύψους θεωρείται από πολλούς ως η απλούστερη και ευκολότερη των μετρήσεων. Το μόνο που χρειάζεται είναι μια μεζούρα και η όρθια και σωστή θέση του εξεταζόμενου ατόμου. Η αλήθεια είναι όμως λίγο διαφορετική. Ειδικά όσο αφορά σε μετρήσεις που συμπεριλαμβάνουν παιδιά, η ακρίβεια είναι απαραίτητη για να μπορέσουμε να ακολουθήσουμε την ταχύτητα αλλαγής του ύψους. Για βρέφη έως και δύο ετών για την μέτρηση του μήκους χρησιμοποιείται ένα βρεφικό σταδιόμετρο. Ιδανικά δυο παρατηρητές θα πρέπει να είναι παρόντες. Ο ένας θα πρέπει να στέκεται στην κεφαλή του σταδιόμετρου και να είναι σίγουρος ότι το κεφάλι οι ώμοι και οι γοφοί του βρέφους να εφάπτονται στην επιφάνεια του σταδιόμετρου. Ο δεύτερος θα

πρέπει να βρίσκεται στη βάση και να διαβάξει τη μέτρηση. Το ύψος όρθιας στάσης μετράτε από την ηλικία των δύο και έπειτα. Πρέπει να αναφερθεί ότι το όρθιο ύψος και το μήκος έχουν μια μικρή διαφορά η οποία λαμβάνεται υπ' όψιν στις καμπύλες ανάπτυξης των παιδιών για τις ηλικίες 0-36 μήνες και 2-20 χρόνια. Για τη μέτρηση του όρθιου ύψους ένα σταδιόμετρο μεταβλητού πήχη χρησιμοποιείται. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης το παιδί πρέπει να στέκεται όρθιο με τα χέρια στο πλάι, τις παλάμες προς τους μηρούς, τις φτέρνες να εφάπτονται στην κατακόρυφη δοκό του σταδιόμετρου και τα πέλματα να σχηματίζουν γωνία 60 μοιρών. Το βάρος πρέπει να κατανέμεται ισόποσα στα δύο πόδια.

Τα παιδιά είναι κακοί πληροφοριοδότες για το ύψος τους κυρίως λόγω της ταχείας αλλαγής του με την ανάπτυξη. Λεπτά άτομα τείνουν να δίνουν χαμηλότερες τιμές για το ύψος τους ενώ κοντά άτομα έχουν την τάση να δίνουν μεγαλύτερες τιμές για το ύψος τους¹⁷.

Βάρος

Τα βρέφη έως δύο ετών θα πρέπει να ζυγίζονται χωρίς ρούχα σε μια βρεφική ζυγαριά. Η λεκάνη της ζυγαριάς θα πρέπει να έχει μήκος ενός μέτρου (100cm) για να μπορεί να ζυγίσει ένα δίχρονο παιδί. Παιδιά από δύο χρονών και πάνω θα πρέπει να ζυγίζονται σε μια ζυγαριά όρθιας στάσης αναλογική ή ψηφιακή με τα εσώρουχά τους. Η τιμή του βάρους υπολογίζεται στα πλησιέστερα 10 γραμμάρια και προκύπτει από το μέσο όρο τριών διαδοχικών μετρήσεων. Η αναφορά του βάρους από το εξεταζόμενο άτομο είναι χαμηλής αξιοπιστίας μιας και η τάση της αναφοράς μικρότερου βάρους από το πραγματικό είναι γενική στον πληθυσμό. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας επίσης συνιστά τη χρήση του βάρους ανά ηλικία για την εκτίμηση της διατροφικής κατάστασης¹⁸.

Δείκτης μάζας σώματος.

Ο δείκτης μάζας σώματος είναι μια έκφραση του σχετικού βάρους και ύψους και υπολογίζεται ως το πηλίκο του βάρους σε χιλιόγραμμα (Kg) διά του τετραγώνου του ύψους σε μέτρα (m).

$$BMI=W/H^2$$

Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι ο δείκτης μάζας σώματος είναι μια βασική παράμετρος στον υπολογισμό της ανάπτυξης των παιδιών¹⁹.

Η καμπύλη του δείκτη μάζας σώματος αυξάνει κατά την βρεφική ηλικία με μια κορύφωση γύρω στους εννέα μήνες ζωής, κατόπιν μειώνεται μέχρι την ηλικία των έξι χρόνων περίπου, για να παρουσιάσει πάλι μια αύξηση η οποία κρατά μέχρι την ενηλικίωση. Πίνακες δείκτη μάζας σώματος που είναι συγκεκριμένοι για πληθυσμούς υπάρχουν για την Γαλλία, τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Σουηδία, το Χόνγκ Κόνγκ, την Ολλανδία και την Ιταλία²⁰.

Η αλληλεξάρτηση μεταξύ βάρους, ύψους, δείκτη μάζας σώματος, σωματικού λίπους δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή και μερικές φορές προκαλεί αντιπαραθέσεις μεταξύ των επιστημόνων. Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το γεγονός ότι ο δείκτης μάζας σώματος δεν μετρά την ποσότητα του λιπώδους ιστού άμεσα. Ο δείκτης μάζας σώματος είναι ένας ασφαλής, φθηνός, και ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος για τον χαρακτηρισμό της παιδικής παχυσαρκίας σε επιδημιολογικές μελέτες. Ο δείκτης μάζας σώματος δεν μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια το ποσοστό σωματικού λίπους

ενός συγκεκριμένου ατόμου. Διάφορες μελέτες ωστόσο έχουν δείξει ένα καλό συσχετισμό μεταξύ του δείκτη μάζας σώματος και του σωματικού λίπους όπως αυτό έχει μετρηθεί με μεγάλης ακρίβειας μεθόδους πεδίου (μεθόδους απεικόνισης)²¹. Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας ανέπτυξε τα κριτήρια του δείκτη μάζας σώματος για υπέρβαρα και παχύσαρκα άτομα. Τα κριτήρια αυτά είναι:

Άτομα με δείκτη μάζας σώματος μικρότερο από 18,5 Kg/m² θεωρούνται ελλιποβαρή.

Άτομα με δείκτη μάζας σώματος μεταξύ 18,5 και 24,9 Kg/m² θεωρούνται φυσιολογικά.

Άτομα με δείκτη μάζας σώματος μεταξύ 25,0 και 29,9 Kg/m² θεωρούνται υπέρβαρα και τέλος

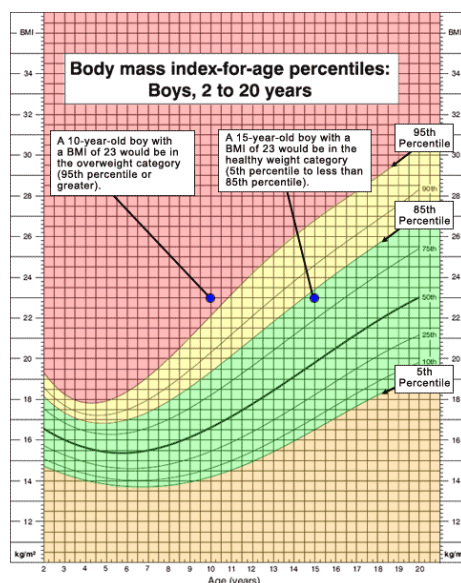
Άτομα με δείκτη μάζας σώματος μεγαλύτερο ή ίσο των 30 Kg/m² θεωρούνται παχύσαρκα.

Ο πίνακας αυτός διαφοροποιείται όταν αναφέρονται τιμές για παιδιά και εφήβους. Λόγω του πολύ μεγάλου βαθμού ανάπτυξης των νεαρών ατόμων η κατηγοριοποίηση πρέπει να γίνεται ανάλογα με την ηλικία και το φύλλο και η κατάταξη σε εκατοστιαίες υποδιαιρέσεις. Μια πολύ γενική κατάταξη επιχειρείται στον πίνακα που ακολουθεί

Πίνακας 1 Πίνακας κατάταξης παιδιών και εφήβων ανάλογα του δείκτη σωματικής μάζας

Κατηγορία κατάστασης βάρους	Εύρος εκατοστιαίων υποδιαιρέσεων
Ελλιποβαρή	Λιγότερη της 5ης εκατοστιαίας υποδιαίρεσης
Υγιές βάρος	Από την 5η έως τη λιγότερη της 85ης εκατοστιαίας υποδιαίρεσης
Κίνδυνος υπέρβαρου	85η έως τη λιγότερη της 95ης εκατοστιαίας υποδιαίρεσης
Υπέρβαρα	Ίση ή μεγαλύτερη της 95ης εκατοστιαίας υποδιαίρεσης

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος εφαρμογής του δείκτη σωματικής μάζας σε παιδιά και εφήβους και η μετατροπή του σε εκατοστιαίες υποδιαιρέσεις παρατίθεται το παρακάτω γράφημα.



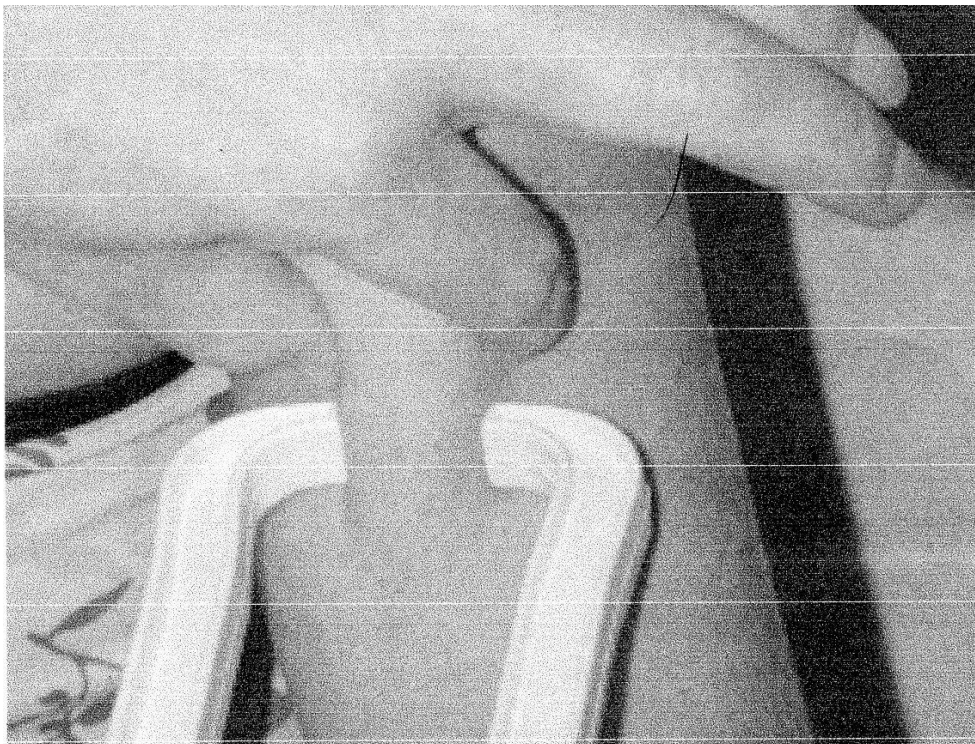
Εικόνα 8 Γράφημα κατάταξης παιδιών με βάση τις εκατοστιαίες υποδιαιρέσεις.

Όπως βλέπουμε στο γράφημα για δύο αγόρια διαφορετικής ηλικίας με τον ίδιο δείκτη σωματικής μάζας λαμβάνουμε διαφορετική κατάταξη. Ένα αγόρι 10 ετών με δείκτη σωματικής μάζας 23 κατατάσσεται στην εκατοστιαία υποδιαίρεση των υπέρβαρων (στην 95η ή μεγαλύτερη εκατοστιαία υποδιαίρεση) ενώ ένα αγόρι 15 ετών με τον ίδιο δείκτη σωματικής μάζας κατατάσσεται στις εκατοστιαίες υποδιαίρεσεις του υγιούς βάρους (μεταξύ της 5^{ης} και της 85^{ης} εκατοστιαίας υποδιαίρεσης).

Είναι σημαντικό να εκτιμούμε το σωματικό βάρος και το ποσοστό του σωματικού λίπους μιας και αποτελούν δύο αλληλεξαρτώμενες αλλά διαφορετικές πληροφορίες για τη σύσταση του σώματος. Μιας και το σωματικό βάρος είναι εύκολο να μετρηθεί και εφόσον κάποιος γνωρίζει το επιθυμητό βάρος για το ύψος του, οι αλλαγές στο βάρος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενδείξεις για την παρακολούθηση της σύστασης του σώματος. Ο περιορισμός στην αξιοπιστία του δείκτη μάζας σώματος έγκειται στο γεγονός ότι το σωματικό βάρος δεν επηρεάζεται μόνο από τη μάζα του λίπους αλλά και από την καθαρή μάζα η οποία αποτελείται από μύες, όργανα και σκελετική μάζα. Για παράδειγμα δύο άτομα της ίδιας ηλικίας του ίδιου φύλλου και του ίδιου ύψους και βάρους να παρουσιάζουν διαφορά στα επίπεδα της μυϊκής ανάπτυξης και του σωματικού λίπους κάτι που ο δείκτης μάζας σώματος αδυνατεί να διαβλέψει²².

Δερματοπτυχές.

Μια αρκετά παλιά μέθοδος για την εκτίμηση της ανάπτυξης και της σύστασης του σώματος είναι αυτή της μέτρησης του πάχους των δερματοπτυχών. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί ειδικά όργανα τα καλούμενα δερματοπτυχόμετρα για να μετρήσει μια δερματοπτυχή που κρατά ο εξεταστής μεταξύ των δακτύλων του και να λάβει μια μέτρηση σε χιλιοστά μιας πτυχής δέρματος και υποδόριου λίπους (εικόνα).

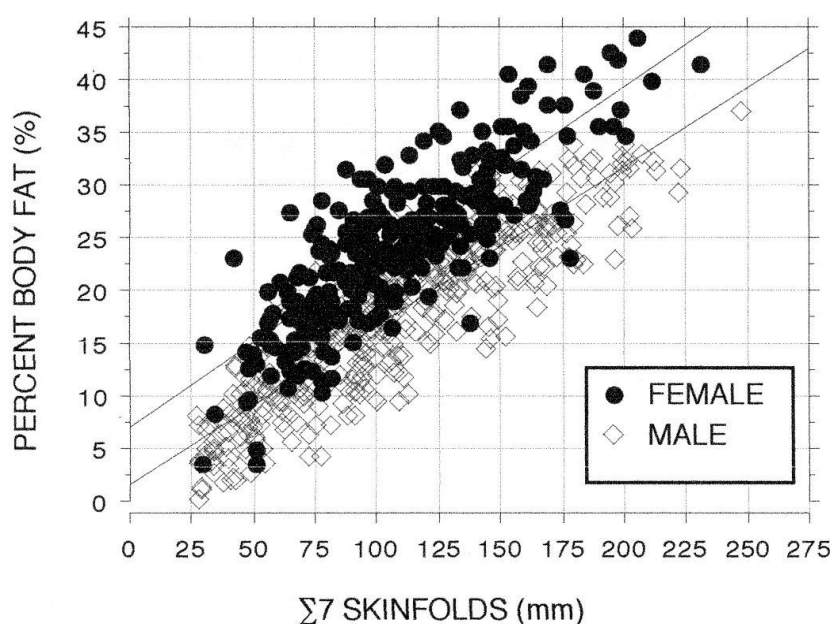


Εικόνα 9 Ο τρόπος με τον οποίο ένα δερματοπτυχόμετρο λαμβάνει μια μέτρηση μιας πτυχής δέρματος στο ύψος του τρικέφαλου.

Η μέτρηση του πάχους των δερματοπτυχών είναι μια μέθοδος μέτρησης της πυκνότητας του σώματος. Η τελικές τιμές για την ποσότητα της καθαρής μάζας, του σωματικού λίπους και του ποσοστού του, μπορεί να εκτιμηθεί από τις εξισώσεις πρόβλεψης που χρησιμοποιούν τις τιμές των μετρήσεων των δερματοπτυχών. Οι βασικές υποθέσεις αυτής της μεθόδου είναι ότι οι δερματοπτυχές αποτελούν ένα καλό δείκτη και μέτρο για το υποδόριο λίπος, και ότι η μάζα του υποδόριου λιπώδους ιστού είναι ένα σταθερό κλάσμα του ολικού σωματικού λίπους. Οι πιο κοινές περιοχές του σώματος για τη λήψη μετρήσεων πάχους δερματοπτυχών σε ηλικιακές ομάδες παιδιών και εφήβων είναι αυτές των τρικέφαλων, των δικεφάλων και των υποπλάτιων μυώνων.

Σε μελέτη του Rolland Cachera το 1995 βρέθηκε ότι μετρήσεις του πάχους των δερματοπτυχών ληφθήσες από διαφορετικά κάθε φορά σημεία του σώματος συνδέονται διαφορετικά με το ολικό σωματικό λίπος και το ποσοστό του σωματικού λίπους. Πιο συγκεκριμένα οι τρικέφαλοι έχουν καλύτερο συσχετισμό με το ποσοστό του σωματικού λίπους ($r=0.6$), ενώ το πάχος των δερματοπτυχών της υποπλάτιας περιοχής συνδέονται καλύτερα με το ολικό σωματικό λίπος ($r=0.7$).

Πίνακες αντιπαράθεσης για το πάχος των δερματοπτυχών των περιοχών των τρικέφαλων και του υποπλάτιου έχουν δημοσιευθεί σε διάφορες χώρες όπως η Μεγάλη Βρετανία, η Γαλλία και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής²³. Άλλες μελέτες έδειξαν ότι η σχέση των τιμών της μέτρησης του λίπους που ελήφθησαν με τη μέθοδο της μέτρησης του πάχους των δερματοπτυχών ήταν πολύ κοντά σε αυτές που μετρηθήκαν με τη μέθοδο του υποβρυχίου ζυγίσματος. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει ότι η σχέση αυτή είναι πολύ κοντά αλλά όχι τέλεια.



Εικόνα 10 Η σχέση μεταξύ του αθροίσματος επτά δερματοπτυχών αντρών και γυναικών και του ποσοστού σωματικού λίπους όπως αυτό μετρήθηκε με την μέθοδο της υποβρύχιας ζύγισης. Για το τα ίδια επίπεδα υποδόριου λίπους οι γυναίκες παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό σωματικού λίπους. Αυτό συμβαίνει εξ αιτίας της διαφοράς στο απαραίτητο λίπος που μετράται από τη μέθοδο της υποβρύχιας ζύγισης αλλά όχι και από τη μέθοδο της μέτρησης του πάχους των δερματοπτυχών.

Αν και πολλοί και διάφοροι συνδυασμοί δερματοπτυχών μπορούν να χρησιμοποιηθούν, τρεις μετρήσεις από τις περιοχές δικεφάλου τρικέφαλου και

υποπλάτιον μας αρκούν για να πάρουμε μια αρκετά ακριβή εκτίμηση του ολικού σωματικού λίπους σε σχέση με τις εκτιμήσεις που προκύπτουν από την υποβρύχια μέτρηση βάρους. Ειδικευμένο προσωπικό πρέπει να λαμβάνει τις μετρήσεις για να εξασφαλίσει την μέγιστη ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις πρόβλεψης που περιγράφονται παρακάτω πρέπει να γνωρίζουμε το άθροισμα των παχών των δερματοπτυχών και την ηλικία του εξεταζόμενου ατόμου. Το ολικό σωματικό λίπος υπολογίζεται βάση των τύπων

α. για τους άντρες

$$\text{Ποσοστό σωματικού λίπους} = (0,275 \times \text{Σστήθος, κοιλιά, μηρός}) + (0,122 \times \text{ηλικία}) - 2,322$$

β. για τις γυναίκες

$$\text{Ποσοστό σωματικού λίπους} = (0,309 \times \text{Σμπράτσο, γοφός, μηρός}) + (0,053 \times \text{ηλικία}) - 3,670$$

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου μέτρησης του πάχους των δερματοπτυχών είναι ότι μετρά το σωματικό λίπος άμεσα. Η μείωση αυτού του τύπου λίπους είναι ο σκοπός των προγραμμάτων απώλειας βάρους. Κάποιος μπορεί να παρακολουθεί την πορεία του προγράμματος με ένα απλό έλεγχο ενός σημείου του σώματός του πιάνοντας ένα κομμάτι δέρματος κάθε φορά²⁴.

Περιφέρειες

Οι διαστάσεις και το μέγεθος της περιφέρειας στη μέση τους γοφούς και τους μηρούς χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της κατανομής του σωματικού λίπους σε παιδιά, και οι μετρήσεις της μέσης και των γοφών αποτελούν καλούς δείκτες για την εκτίμηση του σπλαχνικού και κοιλιακού λίπους. Για τη λήψη των μετρήσεων αυτών των περιφερών αρκεί μια ευλύγιστη πλαστική μεζούρα. Πρόσφατα έχει βρεθεί από σειρά μελετών ότι η περιφέρεια μέσης και μόνο αποτελεί ένδειξη για τους κινδύνους καρδιαγγειακών παθήσεων. Η περιφέρεια μέσης αποτελεί επίσης ένα πρώιμο δείκτη του κινδύνου διατήρησης υπερβολικού λιπώδους ιστού και των μεταβολικών αλλαγών που αυτό συνεπάγεται²⁵. Ο λόγος της περιφέρειας μέσης διά της περιφέρειας γοφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαζί με το δείκτη μάζας σώματος για να μας δώσει μια εκτίμηση των κινδύνων που διατρέχει κάποιο άτομο για την εμφάνιση ασθενειών που σχετίζονται με την υπερβολική συγκέντρωση σωματικού λίπους.

BMI	Λόγος περιφέρειας μέσης γοφών-άντρες			Λόγος περιφέρειας μέσης γοφών-γυναίκες		
	<0,85	0,85 – 1,0	≥1,0	≤0,70	0,70-0,85	>0,85
20 με 24,9	Πολύ χαμηλός	Χαμηλός	Μέτριος	Πολύ χαμηλός	Χαμηλός	Μέτριος
25 με 29,9	Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός	Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός
30 με 34,9	Μέτριος	Υψηλός	Πολύ υψηλός	Μέτριος	Υψηλός	Πολύ υψηλός
35 με 39,9	Υψηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός	Υψηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός
≥40	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός	Πολύ υψηλός

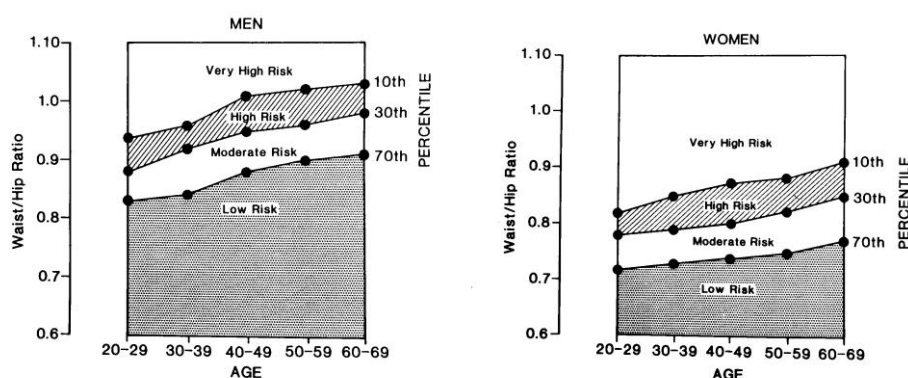
Πίνακας 2

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε μια συσχέτιση του κινδύνου εμφάνισης κάποιας ασθένειας σε σχέση με τον δείκτη μάζας σώματος και τον λόγο περιφερειών μέσης γοφών.

Ο λόγος της περιφέρειας μέσης γοφών (WHR Waist Hip Ratio) ορίζεται ως το πηλίκο της μετρηθείσας περιφέρειας μέσης στο επίπεδο του αφαλού (Waist-C) και της μετρηθείσας περιφέρειας γοφών στο παχύτερο σημείο στο ύψος των γλουτών (Hip-C)

$$\text{WHR} = (\text{Waist-C} / \text{Hip-C})^{26}$$

Στην παρακάτω εικόνα τα δύο γραφήματα δείχνουν τον κίνδυνο εμφάνισης κάποιας πάθησης σε σχέση με την ηλικία και το λόγο μέσης γοφών. Το αριστερό γράφημα δείχνει τη συσχέτιση για τους άνδρες ενώ το δεξί δείχνει τη συσχέτιση για τις γυναίκες. Βλέπουμε λοιπόν πως ο κίνδυνος της εμφάνισης ασθενειών που σχετίζονται με το υπερβολικό ποσοστό σωματικού λίπους αυξάνεται τόσο σε σχέση με την αύξηση του δείκτη μάζας σώματος όσο και με την αύξηση της ηλικίας. Τα γραφήματα μας δείχνουν επιπλέον την κατανομή του δείγματος με το 70% αυτού να είναι σε χαμηλό κίνδυνο, το 20% σε μέτριο και το 10% σε υψηλό τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες²⁷.



Εικόνα 11 Γραφήματα συσχέτισης κινδύνου εμφάνισης κάποιας πάθησης σε σχέση με την ηλικία και τον λόγο μέσης γοφών.

Β. Μέθοδοι μέτρησης σωματικού νερού και ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA, μέθοδος χορήγησης ραδιενεργών ισοτόπων, μέθοδος ενεργοποίησης νετρονίων.)

BIA (Bioelectric impedance analysis)

Παράμετροι της Ανάλυσης της βιοηλεκτρικής διαπερατότητας.

Κατά τη δεκαετία του 1940 κλινικά ελεγχόμενες διακυμάνσεις στην κατάσταση της ενυδάτωσης πρωτοσυνδέθηκαν με τις αλλαγές στην αντίσταση και την πυκνωτική αντίδραση του σώματος. Την ίδια δεκαετία ο Dr Jan Nyboer ξεκίνησε μια έρευνα για τον συσχετισμό των αλλαγών της βιοηλεκτρικής διαπερατότητας και των δυναμικών αλλαγών της παλμικής αιμοδότησης (αιμορροής) των οργάνων, της αρτηριακής πίεσης και του μήκους κύματός της και της αναπνοής. Οι εφαρμογές της πληθυσμογραφίας της διαπερατότητας (με αυτόν τον όρο περιγράφουμε την ηλεκτρική διαπερατότητα και τις αλλαγές της στα άκρα τα όργανα και άλλα μέρη του σώματος για την ανίχνευση δυναμικών αλλαγών του όγκου του αίματος) έχουν ελεγχθεί από πάμπολλους ερευνητές. Η πρώτη φορά που έγινε συσχετισμός μεταξύ

ηλεκτρικής διαπερατότητας και ολικού σωματικού νερού ήταν το 1962 από τον Thomasett και αναπτύχθηκε περισσότερο από τον Hoffer το 1969. Δεν υπήρξαν άλλες προσπάθειες για τον καθορισμό της χρήσης της διαπερατότητας για την ανάλυση της σύστασης του σώματος για τα επόμενα δέκα χρόνια. Ήταν το 1983 που ο Nyboer εφάρμοσε τις αρχές της ηλεκτρικής αντίστασης όγκου που διέπουν την πληθυσμογραφία της διαπερατότητας και χρησιμοποίησε τις μετρήσεις της στατικής διαπερατότητας όλου του σώματος. Από τότε η χρήση της βιοηλεκτρικής διαπερατότητας για την ανάλυση της σύστασης του σώματος έχει εξελιχθεί σε μια από τις ευκολότερες και φθηνότερες μεθόδους και χρησιμοποιείται ευρέως από τους ερευνητές σε όλο τον κόσμο²⁸.

Αντίδραση, διαπίδυση, και γωνία φάσης.

Όλες οι ουσίες και τα υλικά παρουσιάζουν μια αντίσταση στη ροή ενός φορτίου συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα φέρει κάποια μετρήσιμα χαρακτηριστικά εκ των οποίων τα σημαντικότερα είναι η ένταση, η τάση, και η φορά. Η αντίσταση που ένα φορτίο ηλεκτρικού ρεύματος συναντά κατά τη διέλευσή του μέσα από ένα υλικό ή μια ουσία μετράται σε ohms και υπολογίζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_{ohms} = V(volts) \div I(amps)$$

όπου R είναι η αντίσταση. Ένα ohm λοιπόν ορίζεται σαν η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης και ισούται με την αντίσταση ενός κυκλώματος στο οποίο μια ηλεκτροκινητική δύναμη ισχύος ενός volt διατηρεί ένταση ενός Amp (Αμπέρ). Το αμπέρ είναι μονάδα μέτρησης του ρυθμού της αλλαγής της φοράς του ηλεκτρικού ρεύματος κατά την κίνησή του μέσα σε ένα αγωγό ενώ το volt είναι η μονάδα μέτρησης της ισχύος του ηλεκτρικού ρεύματος. Στο σώμα οι καθαροί ιστοί, είναι υψηλής αγωγιμότητας μιας και περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού και ηλεκτρολυτών, και παρουσιάζουν μικρή αντίσταση στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Το λίπος και τα οστά από την άλλη είναι κακοί αγωγοί μιας και παρουσιάζουν υψηλή αντίσταση στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος εξ αιτίας της χαμηλής τους περιεκτικότητας σε νερό και ηλεκτρολύτες²⁹.

Διαπίδυση.

Επίσης γνωστή και σαν πυκνωτική διαπίδυση όταν αναφερόμαστε σε βιολογικούς ιστούς είναι ή αντίσταση στην ακαριαία ροή ενός ηλεκτρικού ρεύματος που προκαλείται από ένα πυκνωτή. Η μαθηματική της εξίσωση για ένα κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η παρακάτω:

$$Reactance(ohms) = 1.0 \div 2 \bullet \pi \bullet frequency \bullet capacitance$$

όπου:

- η διαπίδυση (reactance) εκφράζεται σε ohms
- η συχνότητα (frequency) εκφράζεται σε Hertz
- η χωρητικότητα (capacitance) εκφράζεται σε Farads.

Τα Farads είναι μεγάλες μονάδες μέτρησης και συνήθως εκφράζονται σε μικρότερα κλάσματα όπως microfarad (1×10^{-6}) ή Picofarad (1×10^{-12}). Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι η διαπίδυση είναι αντιστρόφως ανάλογη του γινομένου της συχνότητας και της πυκνότητας. Σαν αποτέλεσμα η διαπίδυση μειώνεται όσο η συχνότητα αυξάνεται. Σε πολύ χαμηλές συχνότητες η διαπίδυση τείνει στο άπειρο. Ένας

πυκνωτής που αποτελείται από δυο μεταλλικές πλάκες χωρισμένες από ένα λεπτό στρώμα αέρα θα είχε μικρότερη διαπίδυση από ένα άλλο με μεγαλύτερη επιφάνεια στις μεταλλικές του πλάκες. Επιπροσθέτως η διαπίδυση θα αυξανόταν όσο η απόσταση μεταξύ των μεταλλικών πλακών θα μεγάλωνε. Στους βιολογικούς αγωγούς για παράδειγμα, όσο μικρότερος είναι ο όγκος της ημιπερατής μεμβράνης ή όσο μικρότερος ο αριθμός τους τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπίδυση, κάτι που έρχεται με αυτό που κάποιος θα περίμενε. Γενικά υψηλές τιμές διαπίδυσης από μια μέτρηση βιολογικής διαπίδυσης αποτελούν δείκτη καλής υγείας και ακεραιότητας των κυτταρικών μεμβρανών. Ο λόγος για το παράδοξο αυτό εξηγείται αν εξετάσουμε τον τρόπο τοποθέτησης μιας αντίστασης και ενός πυκνωτή σε σειριακό ή παράλληλο κύκλωμα. Ιδανικά η διαπίδυση θα έπρεπε να προκύψει ως η χωρητικότητα σε μια ορισμένη συχνότητα. Η χωρητικότητα όμως είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα και ορίζει εμμέσως τον όγκο των κυτταρικών μεμβρανών. Εξ ορισμού ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο ή περισσότερες μεταλλικές πλάκες χωρισμένες μεταξύ τους από ένα μη αγώγιμο υλικό το οποίο ονομάζεται διηλεκτρικό μέσο. Οι πυκνωτές αποθηκεύουν ένα φορτίο ηλεκτρονίων για κάποιο χρονικό διάστημα που εξαρτάται από την αντίσταση του διηλεκτρικού μέσου. Το μέγεθος του φορτίου που ένας πυκνωτής αποθηκεύει περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$C=Q/E=W^2/E^2$$

Όπου:

Q = Ποσότητα του ηλεκτρισμού

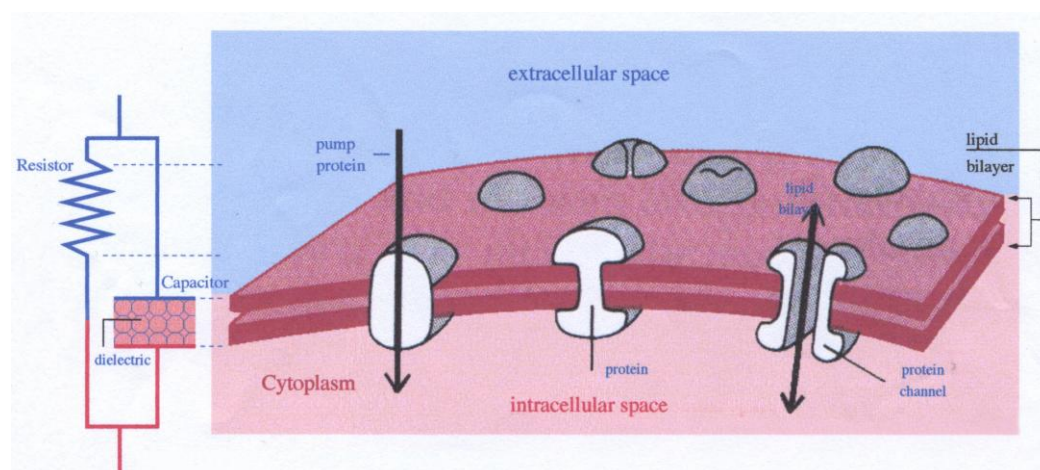
C= Χωρητικότητα σε Farads

E= Τάση σε Volts

W= Η ενέργεια σε Joules (Wattsecond)

Στο υγιές ζωντανό σώμα η κυτταρική μεμβράνη αποτελείται από ένα στρώμα μη αγώγιμων λιπιδίων τοποθετημένων ανάμεσα σε δύο στρώματα αγώγιμων πρωτεϊνών.

Η δομή της κυτταρικής μεμβράνης λαμβάνει τη μορφή των πυκνωτών όπως και τα χαρακτηριστικά τους και την συμπεριφορά τους όταν εκτεθούν σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα³⁰.



Εικόνα 12 Γραφική αναπαράσταση και αντιστοίχιση ηλεκτρικού κυκλώματος και κυτταρικής μεμβράνης.

Στη βιολογία η κυτταρική μεμβράνη λειτουργεί ως ένας επιλεκτικός φράκτης που χωρίζει τα ενδοκυτταρικά από τα εξωκυτταρικά υγρά τμήματα. Προστατεύει το εσωτερικό των κυττάρων επιτρέποντας συγχρόνως το πέρασμα μερικών ουσιών στις

οποίες είναι διαπερατή. Η κυτταρική μεμβράνη διατηρεί τη διακύμανση της οσμωτικής πίεσης των υγρών και του ιονισμού των εξωκυτταρικών και ενδοκυτταρικών τμημάτων. Αυτή η διακύμανση προκαλεί μια διαφορά στο ηλεκτρικό δυναμικό της μεμβράνης η οποία είναι απαραίτητη στην επιβίωση του κυττάρου. Οποιαδήποτε ζημιά στην κυτταρική μεμβράνη και της λειτουργίες της είναι όσο θανατηφόρα για το κύτταρο όσο και μια άμεση καταστροφή του πυρήνα του. Θεωρητικά η διαπίδυση είναι ένα μέτρο του όγκου της χωρητικότητας της κυτταρικής μεμβράνης και μια έμμεση ένδειξη του ενδοκυτταρικού όγκου ή της σωματικής κυτταρικής μάζας. Εκεί που το σωματικό λίπος, το ολικό σωματικό νερό, και το εξωκυτταρικό υγρό παρουσιάζουν αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα, μόνο οι κυτταρικές μεμβράνες παρουσιάζουν πυκνωτική διαπίδυση. Μιας και τα κύτταρα του λίπους δεν περιβάλλονται από κυτταρικές μεμβράνες η διαπίδυση αυτή δεν επηρεάζεται από την ποσότητα του σωματικού λίπους³¹.

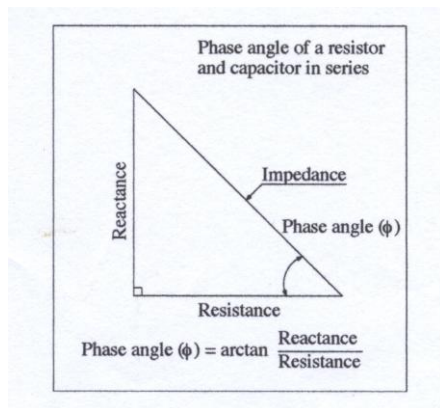
Γωνία φάσης

Η γωνία φάσης είναι μια γραμμική μέθοδος μέτρησης της σχέσης μεταξύ αντίστασης και διαπίδυσης σε σειριακά ή παράλληλα κυκλώματα. Η γωνία φάσης κυμαίνεται μεταξύ 0° και 90° μοιρών. Οι μηδέν μοίρες εκφράζουν ένα κύκλωμα που δεν έχει καθόλου πυκνωτές αλλά μόνο αντιστάσεις (όπως ένα σύστημα χωρίς κυτταρικές μεμβράνες) ενώ οι ενενήντα μοίρες εκφράζουν το αντίθετο, ένα κύκλωμα μόνο με πυκνωτές και καθόλου αντιστάσεις (όπως ένα σύστημα μόνο με κυτταρικές μεμβράνες και καθόλου υγρό). Μια γωνία φάσης σαράντα πέντε μοιρών θα περιέγραφε ένα σύστημα ίσης πυκνωτικής διαπίδυσης και αντίστασης όπως για παράδειγμα τα φρέσκα λαχανικά.

Η εθνική έρευνα εξέτασης υγείας και διατροφής είναι μια περιοδική έρευνα που γίνεται από το Αμερικανικό υπουργείο υγείας. Η τρίτη τέτοια έρευνα που έγινε από το 1988 έως το 1994 ήταν μέρος μιας ευρύτερης προσπάθειας επτά συνολικά ερευνών που βασιζόταν σε ένα πολυεπίπεδο και πολύπλοκο σχέδιο δείγματος. Ο σχεδιασμός της στόχευε στην παροχή πληροφοριών και εκτιμήσεων σε Παναμερικανικό επίπεδο για την κατάσταση της υγείας και τις διατροφικές συνήθειες των πολιτών της Αμερικής ηλικίας δύο μηνών και πάνω και που δε νοσηλεύονταν σε κανενός είδους ίδρυμα. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας δείχνουν ορισμένα ενδιαφέροντα στοιχεία σε σχέση με τη χρήση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης και της γωνίας φάσης και των συμπερασμάτων που έχουν εξαχθεί βάση αυτών των δεδομένων για την κατάσταση της υγείας των ατόμων του δείγματος³².

Normal Phase Angle from NHANES III				
Parameter	Males (n = 8545)		Females (n = 9115)	
	Phase Angle	Age	Phase Angle	Age
Mean	7.80	42.56	7.23	42.76
± SD	1.25	21.16	1.07	21.06
Range	6.19 - 8.83	12 - 90	5.98 - 8.04	12 - 90

Πίνακας 3



Εικόνα 13

Βλέπουμε λοιπόν πως η μέση γωνία φάσης για ένα υγιές άτομο είναι περίπου έξι με εννέα μοίρες ανάλογα με το φύλο. Χαμηλότερες γωνίες φάσης είναι συμβατές με χαμηλή εμπέδηση και ενδεικτικές είτε κυτταρικού θανάτου, είτε βλάβης στην επιλεκτική διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης. Αντίθετα υψηλές γωνίες φάσης συνάδουν με υψηλή εμπέδηση και μεγάλες ποσότητες άθικτων κυτταρικών μεμβρανών και σωματικής κυτταρικής μάζας.

Αντίσταση και χωρητικότητα σε διάταξη σειράς και παράλληλη διάταξη.

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από αντιστάσεις και πυκνωτές τόσο σε σειρά όσο και παράλληλα. Θα χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο ενός κυκλώματος για να καταδείξουμε αυτό το συσχετισμό. Σαν εμπέδηση σε ένα σειριακό ή ένα παράλληλο ηλεκτρικό κύκλωμα ορίζεται η υποτείνουσα του ορθογωνίου τριγώνου με πλευρές την διαπίδυση.

Στο σειριακό κύκλωμα ο υπολογισμός δίδεται από τον τύπο:

$$\text{Εμπέδηση}^2 = \text{αντίσταση}^2 + \text{διαπίδυση}^2$$

ενώ στο παράλληλο από τον τύπο:

$$1/\text{εμπέδηση}^2 = 1/\text{αντίσταση}^2 + 1/\text{διαπίδυση}^2$$

Η μετατροπή ενός σειριακού μοντέλου σε παράλληλο δίνεται από τους τύπους:

$$\text{Αντίσταση(παράλληλου)} = \text{αντίσταση(σειριακού)} + \text{διαπίδυση}^2(\text{σειριακού}) / \text{αντίσταση(σειριακού)}$$

και

$$\text{Διαπίδυση(παράλληλου)} = \text{διαπίδυση(σειριακού)} + \text{αντίσταση}^2(\text{σειριακού}) / \text{διαπίδυση(σειριακού)}$$

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από ένα συνδυασμό αντίστασης και διαπίδυσης τόσο σε σειριακή όσο και σε παράλληλη διάταξη. Έχοντας αυτό κατά νου η γνώση των χαρακτηριστικών της διαπίδυσης γίνεται απαραίτητη για τον ακριβή καθορισμό της σύστασης των κυτταρικών διαμερισμάτων του σώματος. Το απλούστερο βιολογικό ισοδύναμο μοντέλο είναι μια αντίσταση και ένας πυκνωτής σε παράλληλο κύκλωμα. Αυτό το δίκτυο μπορεί να αναλυθεί με μια και μόνο συχνότητα των 50 KHz. Υπάρχει μια κάποια εγκυρότητα σε αυτό το μοντέλο μιας και μπορεί να

θεωρηθεί ότι τα κύτταρα και μηχανισμοί υποστήριξης τους δεν είναι ένα κύκλωμα σε σειρά με τα εξωκυτταρικά και ενδοκυτταρικά στοιχεία, αλλά δημιουργούν ένα παράλληλο κύκλωμα με κάποια χαρακτηριστικά συμπεριφοράς ενός κυκλώματος σε σειρά εξ αιτίας του πυρήνα του κυττάρου. Η συμπεριφορά αυτή επηρεάζεται σε μέγιστο βαθμό από το μήκος των ηλεκτροδίων (ή το ύψος όρθιας θέσης) και πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπ' όψιν για τις απαραίτητες διορθώσεις στις ανεξάρτητες συνιστώσες της αντίστασης και της διαπίδυσης που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις πρόβλεψης³³.

Οι τυπικές μετρήσεις της βιοηλεκτρικής εμπέδησης ολόκληρου του σώματος απεικονίζουν τα ανύσματα της αντίστασης και της διαπίδυσης και τα οποία βασίζονται σε ένα δίκτυο σε σειρά (αντιστάσεις και πυκνωτές σε σειρά). Η αντίσταση είναι έμμεσα συνδεδεμένη με την εξωκυτταρική μάζα ενώ η διαπίδυση με την εσωκυτταρική. Οι μετρήσιμες τιμές της αντίστασης και της διαπίδυσης είναι αλληλοεξαρτώμενες σε ένα απλό παράλληλο δίκτυο και ομιχλώδεις όταν δεν μεταφράζονται μαθηματικά σε ένα παράλληλο μοντέλο. Όλες οι μετρήσεις της βιοηλεκτρικής εμπέδησης λαμβάνουν ως δεδομένο το αντίστοιχο σειριακό μοντέλο και πρέπει να μετατρέπονται στο παράλληλο αντίστοιχο.

Το μεταφρασμένο παράλληλο ισοδύναμο του X_c και R είναι εκτιμήσεις κατά προσέγγιση των πραγματικών ηλεκτρικών τιμών ενός βιολογικού ιστού υποθέτοντας ως ισοδύναμο ένα παράλληλο μοντέλο μιας αντίστασης και ενός πυκνωτή.

Ολικές μετρήσεις σώματος.

Οι μετρήσεις της εμπέδησης ολόκληρου του σώματος (αντίσταση και διαπίδυση) μακροσκοπικά είναι το ανυσματικό άθροισμα της αντίστασης και της διαπίδυσης στα άκρα και τον κορμό. Τα άκρα εξ αιτίας της μικρότερης περιφέρειας και του μεγαλύτερου μήκους τους προσφέρουν τις περισσότερες πληροφορίες στην εμπέδηση. Η εμπέδηση στον κορμό κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30 ohms ανάλογα με το μέγεθος του ατόμου. Αυτό αντιστοιχεί στο 5,5% του σώματος όταν συγκριθεί με την τυπική τιμή εμπέδησης ολόκληρου του σώματος που για τους άνδρες είναι 450 ohms. Η εμπέδηση σε ένα γεωμετρικό σύστημα όπως το ανθρώπινο σώμα στην προκειμένη περίπτωση, εξαρτάται από το μήκος των αγωγών και το γεωμετρικό τους σχήμα, την περιοχή τομής και τη συχνότητα του σήματος. Χρησιμοποιώντας λοιπόν μια σταθερή συχνότητα σήματος και μια σταθερή σχετική μεθοδολογία, η εμπέδηση του σώματος στη ροή του ρεύματος μπορεί να συνδεθεί με τον όγκο του, μιας και ο όγκος του αγωγού ορίζεται σαν το γινόμενο του μήκους του επί την διατομή του:

$$R = \rho \bullet (l / \Phi) \bullet (l / l) \Rightarrow R = \rho \bullet l \uparrow 2 / V \Rightarrow V = \rho \bullet l \uparrow 2 / R$$

Το ρ προσδιορίζεται στατιστικά όταν εφαρμόζεται σε εξισώσεις πρόβλεψης ολόκληρου του σώματος³⁴.

Στο καθορισμό της σύστασης του σώματος με όποια μέθοδο, ο όγκος ή το ολικό σωματικό βάρος πρέπει να είναι γνωστά. Το ολικό σωματικό βάρος είναι ίσο με το πηλίκο του τετραγώνου του μήκους δια της αντιστάσεως και πολλαπλασιασμένο με μια συνεφαπτομένη και σταθερά. Αυτή η συνεφαπτομένη είναι η σχετική αντίσταση όγκου ανά κυβικό λίτρο ιονισμένου νερού κατανεμημένο σε οργανωμένους ιστούς για τους άντρες και τις γυναίκες. Είναι αριθμητικά μικρότερη στους ενήλικους άντρες σαν ομάδα. Όταν μετράμε το ολικό σωματικό βάρος μέσω της εμπέδησης οι μαθηματικές συνιστώσες του μήκους (ή Ύψους) l^2/R , του βάρους και οι

συσχετιζόμενες σταθερές για τους άντρες και τις γυναίκες είναι τα μόνα αντικείμενα αλλαγής.

Μια πιο περίπλοκη μέτρηση της εμπέδησης μετρά την αντίσταση τη διαπίδυση και την αλλαγή στη γωνία φάσης η οποία αναπτύσσεται μεταξύ του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαπερνά το σώμα και της μείωσης της έντασής του από τη μια άκρη του σώματος στην άλλη. Σε μια σταθερή συχνότητα μια αύξηση στη γωνία φάσης και στη διαπίδυση ανακλά μια αύξηση στο λόγο των φορτίων της διαφοράς δυναμικού ή της έντασης στο σώμα.

Η ολική σωματική εμπέδηση και η αντίσταση των μυών έχει μετρηθεί από τον Settle με τη χρήση της τετραπολικής μεθόδου και έχουν βρεθεί να έχουν περίπου τη συχνότητα των 50 KHz. Γι αυτόν το λόγο οι μύες σαν το μεγαλύτερο μέρος του όγκου του σώματος θεωρούνται ως οι κύριοι υπεύθυνοι για τη μέτρηση της ολικής σωματικής εμπέδησης.

Η στατική μέτρηση της εμπέδησης οποιουδήποτε ομοιογενούς αγωγού περιγράφει τον απόλυτο ηλεκτρικό όγκο. Όταν η αντίσταση του αγωγίμου υλικού είναι γνωστή τότε ο ηλεκτρικός όγκος ισούται με το φυσικό όγκο. Αυτή η γενική αρχή εφαρμόζεται εύκολα σε απλά γεωμετρικά σχήματα. Όταν εφαρμόζεται στην περίπλοκη γεωμετρία του ανθρώπινου σώματος, προκύπτουν κάποιες δυσκολίες. Η ολική σωματική αντίσταση και διαπίδυση στις μετρήσεις του Settle από τον καρπό στον αντίθετο αστράγαλο βρέθηκαν να μοιάζουν πολύ με τις περίπλοκες ιδιότητες της εμπέδησης του μυϊκού ιστού³⁵. Σε πρότερες μελέτες του Hoffer (1970) με την τεχνική του τετραπολικού ηλεκτροδίου, το ολικό σωματικό νερό (TBW) μετρήθηκε με τη χρήση διαλύματος οξειδίου του τρίτιου και η ολική σωματική εμπέδηση με τη χρήση του μοντέλου 200CD της Hewlett Packard στα 100 KHz και με ένα μετρητή volt λυχνιών κενού. Μια σημαντική σχετική συνεφαπτομένη της τάξεως του 0,70 βρέθηκε στο λόγο του τετραγώνου του ύψους του υποκειμένου και της εμπέδησης. Αυτός ο αριθμός βελτιώθηκε και έγινε 0,92 σε υγιή άτομα και 0,93 σε ασθενείς με διάφορες διαταραχές, όταν εφαρμόστηκε μια γραμμική πρόοδος μεταξύ του ολικού σωματικού νερού και του λόγου του τετραγώνου του ύψους και της εμπέδησης (h^2/z). Παρά την ισχυρή συσχέτιση στην ομάδα των ασθενών (κάποιοι με διαταραχές ενυδάτωσης) υπήρχε μια μεγάλη διασπορά της τάξης του 11% ή των 3.89 λίτρων μεταξύ του ολικού σωματικού νερού που μετρήθηκε και αυτού που είχε προβλεφθεί³⁶.

Το 1996 ο Kohler αναφέρει:

«Οι εξισώσεις πρόβλεψης για την σωματική κυτταρική μάζα (BCM), την καθαρή μάζα (FFM) και το ολικό σωματικό νερό (TBW), έχουν προκύψει από άμεσες μετρήσεις με τη χρήση της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (BIA) μονής συχνότητας σε 332 άτομα και στα οποία συμπεριλαμβανόταν τόσο λευκοί όσο και μαύροι και Λατίνοι άντρες και γυναίκες. Κάποια άτομα ήταν υγιή και αποτέλεσαν την ομάδα αναφοράς και κάποιοι φορείς του ιού ανεπάρκειας του ανοσοποιητικού συστήματος (HIV). Κάποιες προκαταρκτικές μελέτες έδειξαν μια πιο ακριβή πρόβλεψη της σωματικής κυτταρικής μάζας όταν οι τιμές της διαπίδυσης μετατρέπονταν στις αντίστοιχες του παράλληλου κυκλώματος, από αυτές που προέκυπταν από της ενδείξεις του μετρητή βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Οι εξισώσεις μοντέλου που προήλθαν μετά τη λογαριθμική μετατροπή του ύψους, της διαπίδυσης και της εμπέδησης, ήταν περισσότερο ακριβείς από αυτές που χρησιμοποιούσαν τον λόγο του τετραγώνου του ύψους δια της διαπίδυσης. Επιπλέον βελτίωση επήλθε με τη χρήση εξισώσεων που ήταν εξαρτώμενες του φύλου. Το

αποτέλεσμα της συμπερίληψης του βάρους στις εξισώσεις μοντέλου ήταν μικρότερης σημασίας από τις μετρήσεις της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης. Η εκτίμηση των εξισώσεων έγινε εσωτερικά και δεν έδειξε κάποιον επηρεασμό από την ασθένεια (HIV) ή την φυλή. Οι εξισώσεις για την καθαρή μάζα (FFM) εκτιμήθηκαν εξωτερικά και σε σύγκριση με αποτελέσματα που είχαν ληφθεί με υδροπυκνομετρία από 440 υγιή άτομα και η απόκλιση ήταν μικρότερη του 5%. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η σωματική σύσταση μπορεί να εκτιμηθεί με εύκολες και απλές τεχνικές και ότι οι εκτιμήσεις είναι αρκούντως ακριβείς για χρήση στην κλινική έρευνα και πρακτική»³⁷.

Age Range	Number and Sex	Prediction Equation	SEE	Reference No.
<i>Single-frequency (50 kHz) BIA equations for TBW</i>				
4-7 days	17	$235.8 (Wt \cdot Ht^2/R) + 567$	0.76 l	205
<3 yr	65	$0.67 (Ht^2/Z) + 0.48$	0.36 l	109
5-18 yr	14F, 12M	$0.60 (Ht^2/R) - 0.50$	1.69 l	63
35-65 yr	67F, 72M	$0.24 (Ht^2/R) + 0.172Wt + 0.165Ht + 0.039 (Ht \cdot Wt) - 17.577$	3.47 l	146
19-65 yr	20F, 20M	$0.556 (Ht^2/R) + 0.096Wt + 1.73$	1.75 l	175
19-42 yr	37M	$0.63 (Ht^2/R) + 2.03$	2.03 l	192
20-73 yr	28F, 25M	$0.372 (Ht^2/R) + 3.05 (sex) + 0.142Wt - 0.069age$	1.61 l	190
19-61 yr	20F, 88M	$0.484 (Ht^2/R) + 0.1444Wt + 1.356S + 0.105Xc - 0.057age$	1.53 l	353
<i>Single-frequency (50 kHz) BIA equations for FFM</i>				
10-14 yr	41F, 53M	$0.83 (Ht^2/R) + 4.43$	2.60 kg	155
7-15 yr	166	$0.406 (Ht^2/R) + 0.36Wt + 5.58Ht + 0.56 (sex) - 6.48$	1.68 kg	71
7-25 yr	140M	$0.156 (Ht^2/R) + 0.646Wt + 0.475AC - 0.116LC - 0.375MX - 2.932$	2.31 kg	132
7-25 yr	110F	$0.182 (Ht^2/R) + 0.682Wt - 0.185LC - 0.244T - 0.202SS + 4.338$	2.23 kg	132
17-59 yr	41F, 34M	$0.363 (Ht^2/R) + 0.214Ht + 0.133Wt$	3.06 kg	281
17-62 yr	498F, 1069M	$0.0013Ht^2 - 0.044R + 0.305Wt - 0.168age + 22.668$	2.43 kg (F) 3.61 kg (M)	282
18-50 yr	67F, 84M	$0.756 (Ht^2/R) + 0.11Wt + 0.107Xc$	2.06 kg	191
16-83 yr	661	$0.34 (Ht^2/R) + 15.34Ht + 0.273Wt + 4.56sex - 0.127age - 12.44$	2.63 kg	71
65-83 yr	37F, 35M	$0.36 (Ht^2/R) + 0.359Wt + 4.5sex - 0.20TC + 7.0$	2.50 kg	70
65-94 yr	63F, 35M	$0.28 (Ht^2/R) + 0.27Wt + 4.5sex + 0.31TC - 1.732$	2.47 kg	16
<i>Dual-frequency BIA equations for TBW and ECW</i>				
19-64 yr	36M	$TBW = 0.455 (Ht^2/R_{100}) + 0.14Wt + 3.43$ $ECW = 0.284 (Ht^2/R_0) + 0.112Wt - 6.115$	2.64 kg 1.94 kg	280
19-65 yr	20F, 40M	$TBW = 0.297 (Ht^2/R_{224}) + 0.147Wt - 3.637sex + 14.017$ $ECW = 0.099 (Ht^2/R_{224}) + 0.093Wt - 1.396sex - 5.178$	3.58 kg 1.06 kg	325
19-52 yr	27F, 33M	$TBW = 0.483 (Ht^2/Z_{100}) + 8.4$ $ECW = 0.229 (Ht^2/Z_1) + 4.5$	2.27 kg 1.14 kg	69

Πίνακας 4 Εξισώσεις εκτίμησης σωματικού λίπους BIA

Αξιοπιστία.

Οι εξισώσεις πρόβλεψης ηλεκτρικής εμπέδησης για τον υπολογισμό του ολικού σωματικού νερού και της καθαρής μάζας (LBM Lean Body Mass) είναι βασισμένες στην ολική σωματική αντίσταση, το ύψος και το βάρος. Η παράμετρος του ύψους είναι το όρθιο ύψος του ατόμου και το βάρος είναι η μάζα του μετρημένη με μια ιατρικά αποδεκτή ζυγαριά. Η παράμετρος της αντίστασης είναι η αντίσταση που μετράται από τον μετρητή της εμπέδησης μέσω των ηλεκτροδίων του σε ohms. Όταν ακολουθούνται τα πρωτόκολλα η αξιοπιστία στη μέτρηση του ολικού σωματικού νερού θα παρουσιάσει συντελεστές συσχέτισης εξέτασης-επανεξέτασης της τάξης του 0,99, σύμφωνα με τις αναφορές του Dr Lucoski του Κέντρου για την Ανθρώπινη διατροφή του Αμερικανικού Υπουργείου Γεωργίας:

«Καμιά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε στις τιμές της αντίστασης σε μετρήσεις πέντε συνεχόμενων ημερών. Οι ατομικές συνιστώσες της διαφοράς για αυτές τις τιμές αντίστασης κυμάνθηκαν από 0,9 έως 3,4% και ο μέσος όρος ακρίβειας ήταν 2%. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ εξέτασης-επανεξέτασης ήταν 0,99 για μια μοναδική μέτρηση αντίστασης, όσος και ο συντελεστής αξιοπιστίας για πάνω από πέντε ημέρες»³⁸.

Η Δρ. Karen R. Segall του Υπουργείου Υγείας των ΗΠΑ και του Πανεπιστημίου Columbia (College of Physicians and Surgeons, St. Luke's-Roosevelt Hospital Center) , αναφέρει επίσης:

«Ο αναλυτής βιοηλεκτρικής εμπέδησης μας δίνει εξαιρετικά σταθερές μετρήσεις αντίστασης. Δεν παρουσιάζουν καμιά μεταβολή στις τιμές τους για πέντε διαδοχικές μετρήσεις εφ' όσον τα ηλεκτρόδια παραμείνουν στις θέσεις τους. Η ακρίβεια των μετρήσεων της αντίστασης ελέγχθηκε με τη χρήση αντιστάσεων ακριβείας στα 250, 400, 500, και 750 ohms. Η μετρητής αντίσταση δεν παρέκκλινε από τις αναμενόμενες τιμές περισσότερο από $\pm 2\%$ »³⁹.

Η ανάλυση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης είναι η πιο αξιόπιστη τεχνική που διαθέτουμε για την εκτίμηση της σωματικής σύστασης, υπό την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται τα πρωτόκολλα των ηλεκτροδίων. Η υψηλή αξιοπιστία επιτρέπει στην ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης να παρακολουθεί τόσο τις μακροπρόθεσμες αλλαγές (μέρες, μήνες) όσο και τις βραχυπρόθεσμες (λεπτά, ώρες). Αν κάποια μέθοδος δεν έχει την άνεση της επανάληψης τότε δεν έχει ούτε τη δυνατότητα της αλλαγής. Η ειδικευση της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης έχει αποδειχθεί από εκατοντάδες μελέτες εκτιμήσεως παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια. Πρόσφατα η ευαισθησία της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (TBW, FFM, BCM) έχει καταδεχθεί θετικά με μακροχρόνιες μελέτες του Kotler (σε μελέτες σχετιζόμενες με τον ιό HIV) και του Lukaski (σε μελέτες ελεγχόμενης απώλειας βάρους)⁴⁰. Αυτές οι μελέτες έχουν αξιοθαύμαστους συσχετισμούς με μεθόδους κριτηρίων όπως η μέθοδος διπλής απορρόφησης ακτίνων X (DEXA) και η μέθοδος μέτρησης ολικών σωματικών ισotόπων ⁴⁰K.

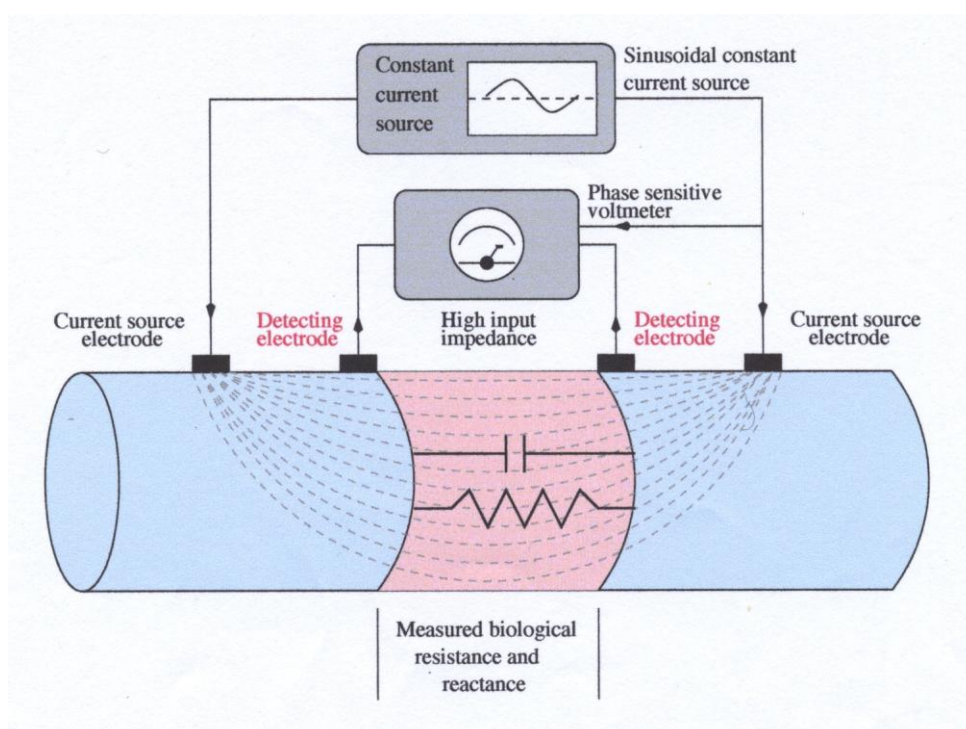
Τεχνικές Μέτρησης.

Η ολική σωματική ηλεκτρική εμπέδηση μετράται με τη διοχέτευση μιας μικρής ποσότητας εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (I) διάμεσου του σώματος και μετρώντας τα volts (V) που προκύπτουν από το γινόμενο της αντίστασης επί του ρεύματος (RxI) μιας και η ένταση του ρεύματος (I) είναι σταθερή και τα Volts ανάλογα της αντίστασης (R). Μια μετατόπιση στη γωνία φάσης μεταξύ ρεύματος και εντάσεως ορίζει την διαπίδυση ή μια πιο πολύπλοκη μέτρηση της εμπέδησης η οποία συμπεριλαμβάνει το διηλεκτρικό μη αγώγιμο διάστημα που αποδίδεται στο δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης.

Η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, η συχνότητα μέτρησης και η εμπέδηση του δέρματος είναι βασικές παράμετροι της μεθόδου και πρέπει να συνοδεύουν τα δεδομένα της εμπέδησης. Η εμπέδηση του δέρματος κυμαίνεται από περίπου 300 έως 1000000 ohms ανά εκατοστό. Για τον ακριβή προσδιορισμό του σωματικού όγκου ηλεκτρικά, η εμπέδηση δέρματος πρέπει να παρακάμπτεται με τη χρήση της τεχνικής είτε των δύο ή των τεσσάρων ηλεκτροδίων. Η τεχνική των δύο ηλεκτροδίων που χρησιμοποίησε ο Thomasett²⁹ παρουσιάζει αρκετούς περιορισμούς. Τα αποτελέσματα αυτής της τεχνικής συχνά δε μπορούν να αναπαραχθούν εξ αιτίας της μεγάλης παρεμβολής ηλεκτροχημικών αντιδράσεων στην επιφάνεια της υποδόριας βελόνας του ηλεκτροδίου η οποία προκαλεί και επιπλέον προβλήματα πολώσεως. Επίσης η μικρή διάμετρος των βελονών των ηλεκτροδίων οδηγεί σε μια πολύ μεγαλύτερη ένταση ρεύματος κοντά στα ηλεκτρόδια σε σχέση με αυτή του υπόλοιπου σώματος. Σαν αποτέλεσμα η ακεραιότητα των ιστών κοντά στα ηλεκτρόδια και το μέγεθος των

ηλεκτροδίων μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις της εμπέδησης μεταξύ των και να προκαλέσουν σύγχυση στα επιθυμητά αποτελέσματα⁴¹.

Η τεχνική των τεσσάρων ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται από τα συστήματα RJL ως επί το πλείστον αποφεύγει αυτές τις δυσκολίες. Τέσσερα ηλεκτρόδια επιφανείας χρησιμοποιούνται τοποθετημένα κάθετα στα άκρα της ίδιας πλευράς ή διασταυρούμενα στις δερματικές επιφάνειες του δεξιού χεριού και ποδιού στα άκρα των μετακαρπίων και μεταταρσίων αντιστοίχως, τα απομακρυσμένα σημεία της κερκίδας και της ωλένης και μεταξύ του έσω και έξω σφυρού του αστραγάλου. Το σύστημα RJL διοχετεύει 800μΑ στα 50KHz ρεύματος το οποίο περνά μεταξύ των δύο εξωτερικών ηλεκτροδίων. Η διαφορά τάσης μετράται μεταξύ των δύο εσωτερικών με τη χρήση του ενισχυτή εμπέδησης υψηλής ακρίβειας. Η εμπέδηση του δέρματος και η πόλωση των ηλεκτροδίων δεν επηρεάζουν τις μετρήσεις της ολικής σωματικής εμπέδησης με τη χρήση της μεθόδου των τεσσάρων ηλεκτροδίων, μιας και η ποσότητα του ρεύματος που απορροφάται από το δέρμα είναι αμελητέα εξ αιτίας της παθητικής διατήρησης του κυκλώματος τροφοδοσίας. Η τεχνική των τεσσάρων ηλεκτροδίων εκμεταλλεύεται ένα συνεχές και βαθιά ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο στο μεταβαλλόμενο αγωγίμο ανθρώπινο σώμα. Έτσι αποφεύγει και προβλήματα που θα προέκυπταν από την κατανομή του πεδίου ή και τις ανωμαλίες των ηλεκτροδίων. Η πηγή του ρεύματος ρυθμίζεται με ακρίβεια $\pm 1\%$ για τιμές από 0 έως 8000 ohms. Τα ηλεκτρόδια ανίχνευσης έχουν χαρακτηριστικά που καταργούν τη χρήση πολύπλοκων ηλεκτροδίων ή αγωγίμων ταινιών⁴².



Εικόνα 14 Σχέδιο βασικής λειτουργίας της τεχνικής των τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Ασφάλεια

Η ασφάλεια του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της βιοηλεκτρικής εμπέδησης καθορίζεται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος είναι τα μέτρα μόνωσης που λαμβάνονται για την αποφυγή γειώσεων για το εξεταζόμενο άτομο. Ο δεύτερος είναι ο καθορισμός του ποιος είναι ένας αβλαβής συνδυασμός ρεύματος και συχνότητας που μπορεί εσκεμμένα να διοχετευτεί στο άτομο που εξετάζεται. Υπάρχουν μερικές αναφορές που έχουν επακριβώς ορίσει τα όρια ασφαλείας για αυτούς τους

συνδυασμούς. Οι Δρ. L.A Geddes και L.E Baker περιγράφουν το όριο για την ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να διοχετευθεί σε ένα σώμα σε διαφορετικές συχνότητες. Στις συχνότητες των 50 με 60 Hz (αυτές που χρησιμοποιούν οι απλές γραμμές παροχής ρεύματος) τα νευρικά και μυϊκά κύτταρα ερεθίζονται. Το όριο αίσθησης είναι μερικά μA ενώ μυϊκοί σπασμοί εμφανίζονται σε πολύ μεγαλύτερες εντάσεις. Εξ αιτίας του μεγάλου εύρους της χωρητικότητας των κυτταρικών μεμβρανών, το όριο της αίσθησης και του πόνου αυξάνει σε τάξεις εύρους ανάλογα με την αύξηση της συχνότητας⁴³. Τα συστήματα RJL των αναλυτών εμπέδησης έχουν ένα ρυθμιστή ακριβείας τοποθετημένο στα 50 KHz. Αυτός ο ρυθμιστής είναι συνδεδεμένος με ένα δίκτυο μετασχηματιστών και κυκλωμάτων συλλογής δεδομένων για την παραγωγή ενός σταθερού ρεύματος στα ηλεκτρόδια πηγής που είναι τοποθετημένα στο εξεταζόμενο άτομο. Η σταθερή παροχή ρεύματος έχει ακρίβεια 1% από ένα έως 8000 ohms στα 800 μA . Οι Geddes και Baker καθόρισαν ότι το όριο του πόνου σε αυτή τη συχνότητα θα ήταν περίπου 40mA ή 50 φορές το κανονικό ρεύμα αυτών των οργάνων. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές της πληθυσμογραφίας της ηλεκτρικής εμπέδησης σε συχνότητες που κυμαίνονται από 10KHz έως 5MHz, όπου ρεύμα έχει διοχετευθεί σε ζωτικά όργανα. Οι Nyboer και Kornmesser εφάρμοσαν μια πληθυσμογραφία εμπέδησης στην περιοχή της μήτρας για να μελετήσουν τις κινήσεις της κατά τη διάρκεια του τοκετού. Δεν υπήρξαν αναφορές για τυχούσες παρενέργειες κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου ούτε και μετά το πέρας της έρευνας. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είχε μια συχνότητα των 100KHz στα 3mA. Οι Bishop και Nyboer εφάρμοσαν τα ίδια όργανα κατευθείαν στον οφθαλμό με μια σειρά ηλεκτροδίων προσαρμοσμένα σε φακούς επαφής χωρίς αρνητικά συμπτώματα στις ίδιες τιμές. Ο Nyboer περαιτέρω εφάρμοσε αυτό τον εξοπλισμό σε μελέτες πολλών περιοχών του ανθρώπινου σώματος για την προώθηση της κλινικής εφαρμογής της πληθυσμογραφίας της ηλεκτρικής εμπέδησης και πάντα οι αναφορές για αρνητικά συμπτώματα ήταν μηδαμινές⁴⁴.

Μέτρηση Ολικού σωματικού νερού με τη χρήση ραδιενεργών ισοτόπων.

Η μέτρηση της σύστασης του σώματος με τη χρήση ραδιενεργών ισοτόπων ονομάζεται και μέθοδος διάλυσης. Η βασική αρχή της μεθόδου αυτής είναι ότι ο όγκος ενός συστατικού του σώματος μπορεί να οριστεί σαν ο λόγος της δόσης ενός ανιχνευτή που χορηγείται είτε στοματικά είτε ενδοφλέβια δια της συγκέντρωσής του στο συστατικό που μας ενδιαφέρει μετά την πάροδο κάποιου μικρού χρονικού διαστήματος μετά την χορήγηση. Στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνονται δύο δείγματα σωματικών υγρών (σάλιο, ούρα, ή αίμα) ένα πριν την χορήγηση της ουσίας ανίχνευσης για τον καθορισμό των επιπέδων της συγκέντρωσης σε ουδέτερο στάδιο και ένα αφού έχει παρέλθει κάποιο χρονικό διάστημα και έχει επέλθει η διείσδυση της ουσίας στο συστατικό του σώματος που θέλουμε να καθορίσουμε. Εάν υπάρχει πιθανότητα έκκρισης μιας σημαντικής ποσότητας της ουσίας ανίχνευσης πριν την επίτευξη του σημείου ισοστάθμισης, τότε ένα συγκεντρωτικό δείγμα ούρων πρέπει να ληφθεί για να μπορέσουν να γίνουν οι ανάλογες διορθώσεις στην εκτίμηση της δόσης. Πολλαπλά δείγματα αίματος μπορούν να ληφθούν και να παρεκταθεί η συγκέντρωση της ουσίας ανίχνευσης μέχρι το σημείο μηδέν. Οι τέσσερις βασικές παραδοχές όλων των τεχνικών της μεθόδου διάλυσης είναι οι εξής:

- α) η ουσία ανίχνευσης διαχέεται μόνο στο ανταλλάξιμο περιεχόμενο, β) είναι ισόποσα κατανεμημένη μέσα σε αυτό το περιεχόμενο γ) δεν επιδέχεται κανένα μεταβολισμό κατά τη διάρκεια της περιόδου ισοστάθμισης και δ) η ισοστάθμιση της ουσίας ανίχνευσης γίνεται στιγμιαία. Αν κάποια από αυτές τις συνθήκες παραβιαστεί, τότε ο λόγος της ποσότητας της δόσης δια της συγκέντρωσης πρέπει να διορθωθεί.

Στις μετρήσεις ολικού νερού, εξωκυτταρικού νερού και ενδοκυτταρικού νερού, διορθώσεις πρέπει να γίνουν για την υπερδιάχυση, την μη επίτευξη ισοστάθμισης, και την έκκριση της ουσίας ανίχνευσης. Η μαθηματική εξίσωση που περιγράφει την αρχή της διάλυσης είναι η παρακάτω:

$$V=k_1.k_2.k_3.k_4.\{(D-E)/([d_t]-[d_o])\}$$

όπου k οι τιμές των σταθερών που χρησιμοποιούνται για τις διορθώσεις που απαιτούνται από τεχνική σε τεχνική, D είναι η ποσότητα της δόσης της ουσίας ανίχνευσης, E είναι η ποσότητα της ουσίας αυτής που εκκρίνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου ισοστάθμισης, $[d_t]$ είναι η συγκέντρωση της ουσίας ανίχνευσης στο ληφθέν δείγμα μετά την πάροδο χρόνου t από τη λήψη της δόσης, και $[d_o]$ είναι η συγκέντρωση ουδέτερου σημείου του ληφθέντος δείγματος πριν την χορήγηση δόσης της ουσίας ανίχνευσης⁴⁵.

Στα μοντέλα πολλών διαμερισμάτων είναι κοινή παραδοχή πως τα μόρια που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της σύστασης του σώματος είναι αυτά του νερού. Σε υγιή μη παχύσαρκα άτομα το ολικό σωματικό νερό αποτελεί το 73% περίπου της καθαρής μάζας ή το 60% του βάρους του σώματος. Αυτά τα ποσοστά όμως δεν είναι ανεξάρτητα από την ηλικία, ούτε ανεπηρέαστα από ασθένειες. Ένα μωρό που έχει γεννηθεί στο τέλος μιας κανονικής κύησης (9 μήνες) έχει ολικό σωματικό νερό που κυμαίνεται μεταξύ 80 και 83% της καθαρής μάζας, και το οποίο μειώνεται πολύ γρήγορα στα επόμενα τρία με πέντε χρόνια μέχρι να φτάσει στο ποσοστό που παρατηρείται στους ενήλικες. Αυτή η αλλαγή στην ενυδάτωση αντικατοπτρίζει μια αλλαγή στο λόγο του νερού των εξωκυτταρικών και ενδοκυτταρικών συστατικών. Σε ορισμένες κλινικές καταστάσεις και με τη χρήση ορισμένων φαρμακευτικών σκευασμάτων το σώμα μπορεί να κατακρατήσει ή να χάσει μεγάλες ποσότητες νερού. Σε καταστάσεις που κρίνονται φυσιολογικές το ολικό σωματικό νερό τείνει να είναι καλά ρυθμισμένο. Απώλειες νερού όπως σε καταστάσεις αφυδάτωσης της τάξεως του 15% μπορούν να αποδειχθούν μοιραίες. Ο Wang και οι συνεργάτες του⁴⁶ επανεξετάσαν την κλασική παραδοχή της σταθεράς της ενυδάτωσης και έδειξαν ότι ακόμη και σε περιπτώσεις σημαντικής διαφοροποίησης του λόγου του εξωκυτταρικού και του ενδοκυτταρικού νερού, η ενυδάτωση (το ολικό σωματικό νερό δια της καθαρής μάζας) παραμένει σχετικά ανεπηρέαστη. Αυτή η παράμετρος της σύστασης του σώματος αποδεικνύεται σημαντική όταν κάποιος θέλει να υπολογίσει τη μάζα λίπους σώματος ορίζοντάς την ως τη διαφορά μεταξύ του βάρους του σώματος και της καθαρής μάζας, και για τον ορισμό της οποίας χρησιμοποιεί τεχνικές μέτρησης που βασίζονται στο ολικό σωματικό νερό. Αν όμως το ενδιαφέρον είναι στον υπολογισμό της κυτταρικής μάζας του σώματος όπως για παράδειγμα το ενδοκυτταρικό ή το εξωκυτταρικό νερό σε περιπτώσεις οιδήματος ή αφυδάτωσης, τότε οι τεχνικές μέτρησης που βασίζονται στο ολικό σωματικό νερό είναι σχεδόν άχρηστες.

Η παλιότερη και ακόμη πιο άμεση τεχνική για τον υπολογισμό του ολικού σωματικού νερού βασισμένη στην αρχή της διάλυσης είναι αυτή της χορήγησης σαν ουσίας ανίχνευσης ισοτόπων του νερού (τρίτιου, δευτέρου και οξυγόνου-18) και της συγκέντρωσης δύο δειγμάτων υγρών σώματος (αίμα, ούρα, ή σάλιο), ένα πριν τη χορήγηση της δόσης και ένα μετά την περίοδο της ισοστάθμισης (περίπου 2 με 3 ώρες). Η μέθοδος της ανάλυσης των δειγμάτων εξαρτάται από την ουσία ανίχνευσης και είναι μέτρηση β-ακτινοβολίας για το τρίτιο, φασματομετρία μάζας για το ¹⁸O, και απορρόφηση υπεριώδους ακτινοβολίας, αέριας χρωματογραφίας ή φασματομετρίας μάζας για το δευτέριο. Στις μελέτες που έχουν γίνει βρέθηκε ότι 2 με 4% του

υδρογόνου της ουσίας ανίχνευσης αντιδρούσε με υδρογόνο που δεν περιέχονταν στο σωματικό νερό με εξαίρεση το ^{18}O , του οποίου περίπου το 1% του υδρογόνου αντιδρούσε με υδρογόνο άλλο από αυτό του σωματικού νερού. Για όλες τις ουσίες ανίχνευσης το εκτιμώμενο σφάλμα στον υπολογισμό του ολικού σωματικού νερού ήταν μικρότερο του ενός κιλού. Στην εκτίμηση της ολικής μάζας λίπους αυτό το σφάλμα μεταφράζεται σε περίπου 10% ή 1,4 κιλά στην απόλυτη τιμή της λιπώδους μάζας και σε 2% στην εκατοστιαία εκτίμηση της μάζας του λίπους. Σε γενικές γραμμές οι τιμές της εκτίμησης του ολικού σωματικού νερού που λαμβάνονται με τη μέθοδο της διάλυσης χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς για την ακρίβεια και αξιοπιστία εναλλακτικών μεθόδων και τεχνικών.

Οι τεχνικές της διάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή των ανταλλάξιμων πηγών ηλεκτρολυτών που δεν είναι κατ' ανάγκη ταυτόσημοι με το ολικό σωματικό περιεχόμενο. Η σημασία σε επίπεδο φυσιολογίας αυτών των πηγών είναι μεγάλη για τον υπολογισμό των εξωκυτταρικών και ενδοκυτταρικών διαμερισμάτων κατανομής υγρών. Για τη μέτρηση του εξωκυτταρικού νερού χρησιμοποιούνται οι ίδιες τεχνικές διάλυσης με αυτές της μέτρησης του ολικού σωματικού νερού. Το σωματικό υγρό που λαμβάνεται σαν δείγμα μέτρησης της συγκέντρωσης είναι το πλάσμα. Η ουσία ανίχνευσης είναι συνήθως μη ραδιενεργό βρώμιο χορηγούμενο από το στόμα. Ένα δεύτερο δείγμα πλάσματος λαμβάνεται μετά από περίπου 3 με 4 ώρες αν και δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης ισοστάθμιση. Η ανάλυση του δείγματος πλάσματος γίνεται με υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης αν και τελευταία εναλλακτικές μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί από τους ερευνητές όπως φθορισμός ακτίνων Χ, φασματοφωτομετρία, και φασματομετρία μάζας.

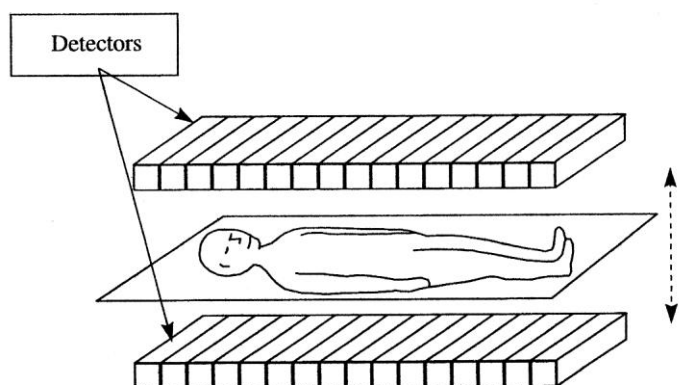
Όσον αφορά στο ενδοκυτταρικό νερό τα πράγματα διαφέρουν λίγο. Η μέτρησή του μπορεί να γίνει με την μέθοδο της διάλυσης του ραδιενεργού καλίου (^{42}K) σαν ουσίας ανίχνευσης. Αυτό το ισότοπο έχει πολύ σύντομη διάρκεια ημίσειας ζωής (12,4 ώρες) και δεν διατίθεται πια ευρέως στο εμπόριο. Γι αυτό το λόγο η μέτρηση των ανταλλάξιμων πηγών καλίου εφαρμόζεται πολύ σπάνια. Η ανάπτυξη της μεθόδου μέτρησης του ολικού σωματικού καλίου μέσω της ολικής μέτρησης σύστασης σώματος περαιτέρω συνέβαλε στην μείωση της χρήσης της μεθόδου διάλυσης του ραδιενεργού καλίου. Η πιο κοινή μέθοδος μέτρησης του ενδοκυτταρικού νερού σήμερα είναι η από του στόματος χορήγηση οξειδίου του δευτερίου (βαρύ ύδωρ) μαζί με δόση βρωμίου και από τις οποίες καθορίζεται το ολικό σωματικό νερό και το εξωκυτταρικό νερό. Τα σφάλματα στην εκτίμηση του ολικού σωματικού νερού που κυμαίνεται σε ± 1 λίτρο και αυτό του εξωκυτταρικού νερού που είναι γύρω στο $\pm 1,5$ λίτρο λειτουργούν αθροιστικά με αποτέλεσμα η αβεβαιότητα της εκτίμησης του ενδοκυτταρικού νερού να φθάνει περίπου στα ± 2 με 3 λίτρα. Άρα η μέθοδος αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των μέσων όρων του ενδοκυτταρικού νερού σε μελέτες πληθυσμών και όχι ατόμων⁴⁷.

Μέθοδος μέτρησης ολικού σωματικού καλίου

Οι συσκευές ολικής μέτρησης σώματος δημιουργήθηκαν αρχικά για την μελέτη της ραδιενέργειας σε πυρηνικά εργοστάσια και εργοστάσια πυρηνικών όπλων και τον έλεγχο της μόλυνσης των εργαζομένων σε αυτά. Κατά τη διάρκεια των ελέγχων ρουτίνας στους εργαζόμενους παρατηρήθηκε μια εκπομπή ραδιενέργειας από όλους τους εργάτες ασχέτως της έκθεσής τους σε ραδιενεργά υλικά. Αργότερα αυτή η εσωτερική ακτινοβολία όπως ονομάστηκε αποδόθηκε στην περιεκτικότητα του σώματος στο ραδιενεργό ισότοπο του καλίου ^{40}K . Η μέθοδος αυτή άρχισε να

αναπτύσσεται και να εφαρμόζεται ως μέθοδος ανάλυσης της σύστασης του σώματος όταν αρχίσαν να γίνονται συσχετισμοί μεταξύ του ^{40}K και της καθαρής μάζας. Η μέτρηση του ραδιενεργού καλίου ^{40}K είναι δυνατή όταν γνωρίζουμε ότι αυτό το ισότοπο αποτελεί περίπου το 0,012% του φυσικού καλίου που υπάρχει στο σώμα και ότι εκπέμπει ακτίνες γ υψηλής ενέργειας (1,46 MeV) σε ρυθμό περίπου 200 dpm/g K. Περισσότερες από το 50% αυτών των ακτίνων εξέρχονται του σώματος και επιτρέπουν τη μέτρησή τους. Για ένα ενήλικο άντρα που ζυγίζει 70 κιλά το περιεχόμενο του καλίου στο σώμα θα παράγει περίπου $1,5 \times 10^4$ ακτίνες X ανά λεπτό που θα εξέλθουν του σώματος. Ο ρυθμός ακτινοβολίας για ένα πρόωρο μωρό με βάρος σώματος κάτω των δύο κιλών είναι μόνο περίπου 500 g/min. Αν και αυτή η διαδικασία συμβάλει στην άθροιση της έκθεσης μας στην ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ζωής μας, οι επιπτώσεις που έχει στην υγεία μας παραμένουν άγνωστες.

Για να μπορέσουμε να πάρουμε ακριβείς τιμές στις μετρήσεις που αφορούν σε ανθρώπους πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας τρεις σχεδιαστικούς περιορισμούς. Την χρήση πολύ καλών ανιχνευτών ακτινοβολίας γ με υψηλή ανάλυση ενέργειας και υψηλή αποτελεσματικότητα, την επαρκή μόνωση της όλης εγκατάστασης για τη μείωση της καταγραφής της γήινης και κοσμικής ακτινοβολίας, ένα σύστημα λήψης και καταγραφής δεδομένων που αντιδρά και αναγνωρίζει την ακτινοβολία γ των 1,46 MeV του ^{40}K . Οι διαθέσιμοι μετρητές σήμερα ποικίλουν από αυτούς που είναι με ελαφρά μόνωση γύρω από το εξεταζόμενο άτομο και τον ανιχνευτή ακτίνων γ , μέχρι αυτούς που διαθέτουν πολλούς ανιχνευτές μεγάλης ακρίβειας και υπάρχουν σε ειδικά μονωμένα δωμάτια. Ο χρόνος που απαιτείται για τη μέτρηση ποικίλει από λίγα λεπτά έως μια ώρα ανάλογα με τη μείωση του επιπέδου θορύβου στην εικόνα λόγω ξένης ακτινοβολίας, την αποτελεσματικότητα της μέτρησης και το μέγεθος του εξεταζόμενου ατόμου. Σε ένα τυπικό μετρητή πολλών ανιχνευτών το άτομο τοποθετείται σε ύπτια θέση σε ένα φορέα που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο συστοιχίες ανιχνευτών ακτίνων γ (μία πάνω από τον φορέα και μία κάτω) και είναι μέσα σε ένα δωμάτιο που αποτελείται από μεταλλικούς τοίχους πάχους 20 εκατοστών οι οποίοι περιβάλλονται από τσιμεντένια θωράκιση πάχους ενός μέτρου.



Εικόνα 15 Σχεδιάγραμμα του φορέα και της διπλής συστοιχίας των ανιχνευτών εκατέρωθεν του.

Η ακτινοβολία του ^{40}K μετράται για 15 λεπτά, διορθώνεται για την ακτινοβολία περιβάλλοντος και μετατρέπεται σε τιμή ολικού σωματικού καλίου. Προηγούμενες μετρήσεις (αποκαλούμενες μανεκέν ή φαντάσματα) για άτομα διαφόρων μεγεθών χρησιμοποιούνται για το βαθμονόμηση των διαφόρων μετρητών ολικού σώματος και για την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ αυτών των μετρητών⁴⁸.

Στο πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι μετρήσεις που προέκυψαν με τη χρήση ενός μετρητή που βρίσκεται στο Baylor College of Medicine⁴⁹ για διάφορες ηλικίες, βάρη και σωματοδομές, και δίδονται οι τιμές της ακρίβειας των μετρήσεων.

	Age Group					
	VLBW	Preterm	Infant	Toddler	Child	Adult
Detectors (n)	3	6	12–16	16–20	20–28	30
Age range	30–36 wk	36–44 wk	1–9 mo	1–3 yr	4–12 yr	>13 yr
Weight range, kg	0.5–3.0	1.5–5.5	2.5–10	5–15	15–70	40–130
Height range, cm	25–50	25–60	45–70	60–100	100–180	150–200
cps/g K	0.41	0.50	0.41	0.35	0.33	0.25
Precision, %	3.3	2.0	2.5	2.1	1.7	0.8
Time, min	30	30	15	15	15	15

Πίνακας 5 Πίνακας μετρήσεων και αποτελεσμάτων για τον μετρητή ολικού σώματος του Baylor College of Medicine.

Η μέτρηση ολικού καλίου του σώματος χρησιμοποιήθηκε αρχικά σαν ένας δείκτης για την κυτταρική μάζα του σώματος όπως αυτή έχει οριστεί από τις μελέτες του Moore⁵⁰. Έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της καθαρής μάζας μέσω του λόγου ολικού σωματικού καλίου δια της καθαρής μάζας όπως αυτός προκύπτει από την κλασική πλέον μελέτη του Forbes⁵¹ πάνω σε πτώματα. Αν και οι δύο αυτές μελέτες έχουν πλέον περάσει στη σφαίρα του αδιαμφισβήτητου, πολλές κατοπινές έχουν σταθερά δείξει χαμηλότερο μέσο όρο συγκέντρωσης καλίου για την καθαρή μάζα. Αν και οι διαφορές στο λόγο ολικού σωματικού καλίου και καθαρής μάζας είναι σχετικά μικρές, μεγεθύνονται όταν το ολικό σωματικό κάλιο χρησιμοποιείται σε ένα μοντέλο δύο διαμερισμάτων για την εκτίμηση της μάζας του σωματικού λίπους.

Η υψηλή ακρίβεια της μεθόδου αυτής έχει πιστοποιηθεί αν και η ακρίβεια καθορισμού της απόλυτης μάζας δεν έχει την ίδια ισχυρή πιστοποίηση. Μια άμεση επιβεβαίωση για παράδειγμα της τιμής του ολικού σωματικού καλίου μέσω νεκροτομής ανθρωπίνων πτωμάτων δεν έχει ακόμη ληφθεί αν και έχει βρεθεί να είναι ακριβής σε μετρήσεις που έγιναν σε ζώα. Σε γενικές γραμμές η ακρίβεια της μεθόδου ολικής σωματικής μέτρησης του ολικού σωματικού καλίου είναι 1 έως 5% για τους ενήλικες τα παιδιά και τους εφήβους, και μειώνεται ελάχιστα για πρόωρα νεογνά⁵².

Μέθοδος ενεργοποίησης νετρονίων.

Η ανάπτυξη της μεθόδου ενεργοποίησης νετρονίων και η χρήση της σε συνδυασμό με ένα πολυδιαμερισματικό μοντέλο για την ανάλυση της σύστασης του σώματος επέτρεψε στους ερευνητές να έχουν μια εικόνα για την περιεκτικότητα σχεδόν όλων των χημικών στοιχείων που συναντώνται στο σώμα: του υδρογόνου, του οξυγόνου, του αζώτου, του ασβεστίου, του φωσφόρου, του νατρίου, των χλωριδίων και του καλίου (με την χρήση της μεθόδου μέτρησης του ⁴⁰K). Επιπλέον τεχνικές έχουν αναπτυχθεί και ειδικεύονται στις μετρήσεις τμημάτων του σώματος ή συγκεκριμένων οργάνων και συγκεκριμένων ιχνοστοιχείων όπως το κάδμιο, ο υδράργυρος, ο σίδηρος, το ιώδιο, το αλουμίνιο, το βόριο, το λίθιο και το πυρίτιο. Στα όργανα συμπεριλαμβάνονται τα νεφρά το συκώτι ο εγκέφαλος οι πνεύμονες η καρδιά και ο θυρεοειδής.

Οι βασικές αρχές της φυσικής που διέπουν την μέθοδο ενεργοποίησης νετρονίων μπορούν να εξηγηθούν απλά. Όταν ένα άτομο δεσμεύει ένα νετρόνιο τότε μετατρέπεται σε ένα πυρηνικό ισότοπο του ίδιου χημικού στοιχείου με το αρχικό. Αυτό το νέο άτομο μπορεί να είναι είτε σταθερό είτε ραδιενεργό. Σε κάθε περίπτωση

το άτομο αυτό φέρει ένα πλεόνασμα ενέργειας το οποίο πρέπει να μεταδώσει είτε άμεσα (αν είναι σταθερό και σε χρόνο που τυπικά κυμαίνεται σε 10^{-14} δευτερόλεπτα) είτε με κάποια καθυστέρηση εάν είναι ραδιενεργό, καθυστέρηση που καθορίζεται από το χρόνο ημίσειας ζωής. Όταν λοιπόν ένα σώμα εκτεθεί σε μια δέσμη νετρονίων εκπέμπει ακτίνες γ τόσο άμεσα όσο και για κάποιο χρονικό διάστημα μετά την παύση της δέσμης (εξαιτίας των στοιχείων που αποκτήσαν ραδιενεργή συμπεριφορά). Κάποια από αυτή την ακτινοβολία μπορεί να καταγραφεί με ανάλογα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ολικού σωματικού καλίου. Ο αριθμός των πηγών εκπομπής νετρονίων, ο τύπος των πηγών αυτών, ο φυσικός σχεδιασμός της συστοιχίας εκπομπής, η θέση του σώματος μέσα στο πεδίο εκπομπής και το σύστημα ανίχνευσης, αποτελούν τον κρίσιμο συνδυασμό για την επίτευξη ακρίβειας στη μέθοδο. Αν και όλες οι εγκαταστάσεις που πραγματοποιούν αναλύσεις σωματικής σύστασης με τη μέθοδο της ενεργοποίησης νετρονίων μοιάζουν μεταξύ τους δεν υπάρχει κάποιος οδηγός στην κατασκευή ή το σχεδιασμό τους. Και εδώ για τη βαθμονόμηση των εγκαταστάσεων χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική που χρησιμοποιείται και στη μέθοδο της μέτρησης ολικού σωματικού καλίου με τη χρήση ειδών από προηγούμενες μετρήσεις.

Με τη μέθοδο ανάλυσης της σωματικής σύστασης με την ενεργοποίηση νετρονίων μετράται σήμερα κυρίως το ολικό σωματικό ασβέστιο με τη τεχνική της καθυστερημένης εκπομπής και του ολικού σωματικού αζώτου με τη μέθοδο της άμεσης εκπομπής. Η αναφερθείσα ακρίβεια των μετρήσεων είναι 1 με 2% για τη μέτρηση του ολικού σωματικού ασβεστίου και 3-4% για τη μέτρηση του ολικού σωματικού αζώτου. Η δόση ακτινοβολίας για την μέτρηση του ολικού σωματικού αζώτου είναι σχετικά χαμηλή (μικρότερη από 0.3 mSv) ενώ για την μέτρηση του ολικού σωματικού ασβεστίου σημαντικά υψηλότερη (μεγαλύτερη από 3 mSv).

Ένα από τα σημαντικά μειονεκτήματα της μεθόδου ενεργοποίησης νετρονίων είναι ότι το μεγαλύτερο μέρος της δόσης της ακτινοβολίας που λαμβάνει το σώμα παρέχεται χωρίς να δίνει κάποιο σήμα παραγωγής ή ανίχνευσης. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα σχήματα παλμικής ενεργοποίησης έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του συστήματος ανίχνευσης ανάλογα με τις πιθανότητες που έχει να συλλάβει την εκπομπή της ακτινοβολίας του σώματος μειώνοντας έτσι κατά πολύ το θόρυβο από τις εκπομπές του περιβάλλοντος. Επίσης πρόσφατα καινούργιοι ανιχνευτές έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται όπως αυτοί που αποτελούνται από οξειδίο του βισμούθιου γερμάνιου και οι οποίοι προσφέρουν μεγάλη βελτίωση σε σχέση με αυτούς που χρησιμοποιούνταν πριν. Με αυτές τις αλλαγές οι ερευνητές υπόσχονται μια απόδοση δέκα φορές καλύτερη για την ίδια δόση ακτινοβολίας στις μετρήσεις ολικού σωματικού αζώτου.

Ο κύριος λόγος που περιορίζει την ευρεία χρήση της μεθόδου ανάλυσης της σύστασης του σώματος με την ενεργοποίηση των νετρονίων είναι η ακτινοβολία που λαμβάνει το άτομο που εξετάζεται. Στο περιβάλλον στο οποίο ζούμε η ραδιενέργεια υπάρχει τόσο εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων όσο και σαν φυσικό φαινόμενο. Ο μέσος όρος της ακτινοβολίας υπόβαθρου (όπως έχει ονομαστεί η ακτινοβολία που υπάρχει στο περιβάλλον) από όλες τις πηγές (κοσμική, γήινη, ραδίου, ανθρωπίνης προέλευσης, και αυτή που εκπέμπει το σώμα μας) έχει εκτιμηθεί για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής στα 3,6 mSv/yr⁵³. Η δόση για τις μετρήσεις με τη μέθοδο της ενεργοποίησης νετρονίων, του άνθρακα του αζώτου και του ασβεστίου είναι περίπου 0,1 mSv για τον άνθρακα, 0,3 mSv για το άζωτο και 3 mSv για το

ασβέστιο. Συγκριτικά η μέση δόση για μια συνηθισμένη ακτίνα θώρακα για έναν ενήλικα είναι 0,4 mSv, με το εύρος να κυμαίνεται από 0,1 έως 1 mSv. Όλες οι κλινικές ή διαγνωστικές ραδιολογικές διαδικασίες εμπεριέχουν κάποιο ρίσκο και είναι απαραίτητο να υπολογιστούν τα οφέλη και οι βλάβες μιας τέτοιας διαδικασίας.

Activity	Type of Death
Modes of travel	
Air (150 mi.)	Accident
Air (Trans-Atlantic flight)	Cancer (cosmic rays)
Car (15 mi.)	Accident
Living conditions/location	
5,000 ft. above sea level (3 mo)	Cancer (cosmic rays)
Living in stone building (2 wk)	Cancer (radon)
Employment conditions	
Working in average United States factory (3 days)	Accident
Working in a United States coal mine (30 min)	Accident
Smoking (1 cigarette)	Cancer

Πίνακας 6 Το λαμβανόμενο ρίσκο για κάθε δραστηριότητα είναι αυτό που θα οδηγούσε στο θάνατο. Σαν αιτία θανάτου αναφέρεται το γεγονός που θα τον προκαλούσε. Η πιθανότητα της αιτίας να οδηγήσει στο θάνατο έχει υπολογιστεί σε μία ανά πέντε με οκτώ εκατομμύρια. Συγκριτικά η πιθανότητα να πεθάνει κάποιος από χτύπημα κεραυνού είναι μία στο ένα εκατομμύριο.

Στον παραπάνω πίνακα γίνεται μια σύγκριση καθημερινών ασχολιών και του κινδύνου που εμπεριέχουν και που είναι συγκρίσιμος ποσοστιαία με αυτόν μιας μέτρησης ολικού σωματικού αζώτου με τη μέθοδο της ενεργοποίησης νετρονίων. Αν και αυτοί οι κίνδυνοι είναι σχετικά μικροί παραμένει αναγκαιότητα η προσπάθεια της μείωσης της δόσης της ακτινοβολίας στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο χωρίς όμως να μειωθεί πολύ η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Γ. Μέθοδοι μέτρησης όγκου σώματος (υποβρύχια μέτρηση βάρους, πληθυσμογραφία μετατόπισης αέρα)

Υποβρύχια μέτρηση βάρους (υδροπυκνομετρία).

Η υποβρύχια μέτρηση βάρους ή αλλιώς υδροπυκνομετρία ή υδροστατική ζύγιση, θεωρείται η ακριβέστερη από τις μεθόδους πυκνομέτρησης ή μέτρησης όγκου. Βασίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη για τον καθορισμό του ολικού σωματικού όγκου βάση της μέτρησης της διαφοράς του βάρους του εξεταζόμενου ατόμου στο νερό από αυτό στον αέρα και δια μέσω αυτής καθορίζεται η ολική πυκνότητα σώματος. Η τυπική διαδικασία απαιτεί από το εξεταζόμενο άτομο να είναι εντελώς βυθισμένο στο νερό έχοντας εκπνεύσει όσο το δυνατόν περισσότερο αέρα από τους πνεύμονές του για τη μείωση της πιθανότητας επίπλευσης εξ αιτίας του αέρα των πνευμόνων. Οι περιορισμοί που παρουσιάζονται στη χρήση αυτής της μεθόδου είναι ο χρόνος που απαιτείται, η σκληρή δουλειά του προσωπικού που διεξάγει τη μέτρηση, η δυσανασχέτηση που η τεχνική της μεθόδου προκαλεί στο εξεταζόμενο άτομο, καθώς και η αδυναμία εφαρμογής της μεθόδου σε μεγάλες ομάδες πληθυσμού όπως οι ηλικιωμένοι, τα άτομα με ειδικές ανάγκες, και τα άτομα με χρόνιες παθήσεις. Το πρωτόκολλο αυτής της μεθόδου συνοψίζεται ως εξής: πριν την έναρξη της διαδικασίας λαμβάνονται οι ακόλουθες μετρήσεις. Το βάρος εκτός δοχείου βύθισης (στον ατμοσφαιρικό αέρα) σε κιλά, το ύψος σε εκατοστά, η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου (°C), και η βαρομετρική πίεση σε χιλιοστά

υδραργύρου (mmHg). Το εξεταζόμενο άτομο εισέρχεται στο δοχείο βύθισης και απομακρύνει όλο τον αέρα που πιθανά να έχει παγιδευτεί στο μαγιά του, στα μαλλιά του περνώντας τα δάχτυλά του ανάμεσα στις τρίχες της κεφαλής ενώ έχει βυθιστεί, και τρίβοντας με τα χέρια του όλο το σώμα του για να διώξει ότι φυσαλίδες αέρα μπορεί να έχουν δημιουργηθεί πάνω στο δέρμα του. Κατόπιν το προσωπικό που διεξάγει τη μέτρηση το καθοδηγεί στη λήψη μιας στάσης όπου βυθίζει το σώμα του μέχρι το πιγούνι με λυγισμένα τα γόνατα προσποιούμενο μια στάση ανάλογη αυτής του καθίσματος σε μια καρέκλα. Σε αυτό το σημείο και σε αυτή τη στάση λαμβάνεται η μέτρηση του εναπομείναντα όγκου αέρα πνευμόνων με τη μέθοδο της διάλυσης του αζώτου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου να ληφθούν δυο μετρήσεις με διαφορά ± 100 mL η μια από την άλλη. Ο μέσος όρος των δύο αυτών τιμών χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πυκνότητας σώματος. Στη συνέχεια το εξεταζόμενο άτομο κάθεται σε μια καρέκλα που υπάρχει μέσα στο δοχείο βύθισης και στην οποία έχουν προσαρμοστεί μια σειρά αισθητήρων φορτίου συνδεδεμένοι με ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μόλις το άτομο βυθιστεί τελείως εκπνέει το μεγαλύτερο δυνατό ποσό αέρα που μπορεί. Με το πέρας της μέγιστης εκπνοής και αφού εξαφανίσουν όλες οι φυσαλίδες λαμβάνεται μια ηλεκτρονικά παραγόμενη μέτρηση βάρους. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να ληφθούν δύο μετρήσεις με απόκλιση ± 50 g μεταξύ τους. Ο όγκος σώματος υπολογίζεται με βάση την αρχή του Αρχιμήδη και την απαραίτητη διόρθωση για τον εναπομείναντα όγκο αέρα στους πνεύμονες. Η τιμή που λαμβάνουμε για τον όγκο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ολικής πυκνότητας σώματος (μάζα σώματος δια του όγκου) και η τιμή της πυκνότητας εισέρχεται κατόπιν στις εξισώσεις εκτιμήσης σωματικού λίπους (είτε του Siri είτε του Shutte)⁵⁴.

Η μέθοδος αυτή είναι προφανές ότι δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βρέφη και νήπια και πιθανά σε παιδιά προεφηβικής ηλικίας. Τόσο η δυσκολία της τεχνικής όσο και η αδυναμία των ατόμων μικρής ηλικίας να ακολουθήσουν επακριβώς πολύπλοκες οδηγίες καθιστούν αυτή τη μέθοδο ακατάλληλη για την ομάδα του πληθυσμού που εξετάζει η παρούσα εργασία. Αν και η ακρίβεια των μετρήσεων αυτής της μεθόδου είναι πολύ υψηλή, έχουν αναπτυχθεί κάποιες νέες βασισμένες στις ίδιες αρχές οι οποίες παρουσιάζουν εξίσου ακριβή αποτελέσματα χωρίς όμως να παρουσιάζουν το βαθμό δυσκολίας της υδροπυκνομετρίας. Μια τέτοια είναι η πληθυσμογραφία μετατόπισης αέρα που θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

Μέθοδος πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα (BOD POD)

Η μέθοδος πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα μετρά τον όγκο του σώματος με τη μέτρηση της μείωσης του όγκου αέρα σε ένα ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο όταν σε αυτόν εισέρχεται το εξεταζόμενο άτομο. Ο θάλαμος αυτός έχει μια γνωστή εκ των προτέρων χωρητικότητα. Όπως και στην υδροπυκνομετρία η ολική πυκνότητα σώματος υπολογίζεται με βάση τη διαφορά όγκου του αέρα και η σωματική σύσταση υπολογίζεται με τη χρήση ελεγμένων από προηγούμενες μελέτες εξισώσεων πρόβλεψης. Η μέθοδος της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα χρησιμοποιεί ένα πληθυσμογράφο μετατόπισης αέρα που αποτελείται από ένα σύστημα δύο θαλάμων συνδεδεμένων με ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή και οι οποίοι διαθέτουν μια ψηφιακή ζυγαριά ο καθένας. Ειδική έκδοση λογισμικού χρησιμοποιείται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την επεξεργασία των δεδομένων. Το πρωτόκολλο που ακολουθείται είναι συνήθως το εξής: Το εξεταζόμενο άτομο φορά ένα εφαρμοστό μαγιά και σκουφάκι κολυμβήσεως (για την ελαχιστοποίηση όποιας επίδρασης μπορεί να έχουν τα μαλλιά στη μέτρηση) και βγάζει οποιοδήποτε αντικείμενο έχει πάνω του (όπως

ρολόγια κοσμήματα κα). Η μάζα του σώματος μετράται πρώτα σε μια ηλεκτρονικά βαθμονομημένη ζυγαριά στα πλησιέστερα 20 g. Κατόπιν το άτομο που εξετάζεται παίρνει θέση μέσα στο θάλαμο του πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα για την μέτρηση του όγκου σώματος. Το άτομο πρέπει να καθίσει σιωπηλό σε όσο το δυνατόν πιο όρθια στάση με τα χέρια διπλωμένα στην κοιλιά και τα δύο πέλματα των ποδιών στο πάτωμα του θαλάμου. Στην αρχή λαμβάνονται δύο μετρήσεις των 50 δευτερολέπτων για να πιστοποιηθεί η αξιοπιστία του συστήματος. Οι δύο αυτές μετρήσεις επαναλαμβάνονται αν οι τιμές τους διαφέρουν παραπάνω από ± 150 mL. Μετά τις μετρήσεις ρύθμισης το άτομο συνδέεται σε ένα εσωτερικό κύκλωμα αναπνοής για τη μέτρηση του όγκου του θωρακικού αέρα. Το εξεταζόμενο άτομο φράσσει τη μύτη του με ένα ρινικό διάφραγμα, και συνεχίζει να αναπνέει κανονικά από το στόμα για περίπου άλλες δυο με τρεις αναπνοές έτσι ώστε να επιτρέψει στο σύστημα να καταγράψει το ρυθμό αναπνοής σε πραγματικό χρόνο και να τον εμφανίσει στην οθόνη του υπολογιστή. Ο παρατηρητής της διαδικασίας παρακολουθεί την καταγραφή του ρυθμού και δίνει σήμα στο άτομο ακριβώς πριν το σημείο παύσης της αναπνοής. Το εξεταζόμενο άτομο τότε συσπά και χαλαρώνει το διάφραγμά του εναλλάξ και η πίεση του αεραγωγού και του θαλάμου καταγράφονται συγχρόνως. Η διαδικασία μέτρησης θωρακικού αέρα επαναλαμβάνεται αυτόματα αν υπάρχουν διαρροές αέρα ή ανωμαλίες στο ρυθμό αναπνοής ανιχνεύσιμες από το αυτόματο σύστημα. Μόλις ολοκληρωθούν αυτές οι μετρήσεις (μετά από τρία έως πέντε λεπτά) η πυκνότητα του σώματος (D_b) υπολογίζεται από τον υπολογιστή του συστήματος με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$D_{b(AP)} = \text{mass}/V_{b(AP)}$$

όπου $V_{b(AP)}$ είναι ο όγκος του σώματος όπως καθορίζεται από τον πληθυσμογράφο μετατόπισης αέρα (AP). Το ποσοστό σωματικού λίπους προκύπτει από τις εξισώσεις του Shutte για τα άτομα Αφρικανοαμερικανικής προέλευσης και του Siri για όλα τα υπόλοιπα άτομα⁵⁵.

$$\text{Shutte \%BF}_{AP} = (4.374/D_b) - 3.928$$

$$\text{Siri \%BF}_{AP} = (4.95/D_b) - 4.50$$

Στη συγκριτική μελέτη που έγινε μεταξύ υδροπυκνομετρίας πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα και BIA σε δείγμα 47 ατόμων (23 άνδρες και 24 γυναίκες) ηλικίας από 19 έως 48 χρονών καταδείχθηκε η μικρή διαφορά μεταξύ των μεθόδων στην εκτίμηση του σωματικού λίπους. Στην πληθυσμογραφία μετατόπισης αέρα και στην υδροπυκνομετρία χρησιμοποιήθηκαν τα πρωτόκολλα που περιγράφονται παραπάνω ενώ στη BIA χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο μέτρησης τεσσάρων ηλεκτροδίων (βλέπε προηγούμενη περιγραφή μεθόδου) και αθημοσίευτες εξισώσεις πρόβλεψης. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι τα αποτελέσματα της εκτίμησης του σωματικού βάρους δεν διαφέραν σημαντικά από μέθοδο σε μέθοδο αλλά παρουσίαζαν σημαντική συσχέτιση μεταξύ τους ($\%BF_{AP}$ και $\%BF_{HW}$ $r=0.944$ και $P<0.001$ ενώ $\%BF_{AP}$ και $\%BF_{BIA}$ $r=0.859$ και $P<0.01$). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και η διασπορά των αποτελεσμάτων⁵⁶.

	Men (n = 23)	Women (n = 24)	All (n = 47)
Age (y)	33.3 $\pm$ 8.7 (20–48)	30.7 $\pm$ 7.2 (19–42)	32.0 $\pm$ 8.0 (19–48)
Body mass (kg)	84.1 $\pm$ 13.1 (62.1–113.8)	68.1 $\pm$ 17.1 (53.3–135.0) ²	75.9 $\pm$ 17.1 (53.3–135.0)
Height (cm)	179.5 $\pm$ 5.9 (167.0–188.0)	168.0 $\pm$ 7.3 (156.2–184.8) ²	173.6 $\pm$ 8.8 (156.2–188.0)
$\%BF_{AP}$ (%)	20.2 $\pm$ 7.3 (6.0–34.0)	29.7 $\pm$ 7.9 (15.8–48.9) ²	25.0 $\pm$ 8.9 (6.0–48.9)
$\%BF_{HW}$ (%)	21.5 $\pm$ 6.2 (8.5–32.7)	28.6 $\pm$ 7.5 (13.7–46.8) ²	25.1 $\pm$ 7.7 (8.5–46.8)
$\%BF_{BIA}$ (%)	20.2 $\pm$ 6.3 (11.1–36.4)	27.5 $\pm$ 7.4 (13.5–44.1) ²	23.9 $\pm$ 7.7 (11.1–44.1)

Πίνακας 8 Αποτελέσματα μελέτης που δείχνει μικρή διαφορά στην εκτίμηση σωματικού λίπους μεταξύ μεθόδων.

Από την αρχή της ανάπτυξής της η μέθοδος της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα έχει γίνει αντικείμενο εξέτασης για την ακρίβεια και την αξιοπιστία της. Στη συγκεκριμένη μελέτη κάποιες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν έχουν να κάνουν με παράγοντες που είναι απρόβλεπτοι και όχι με τη μέθοδο ή το πρωτόκολλό της (όπως πχ ο υπολογισμός του παράγοντα του φύλου στις εκτιμήσεις του σωματικού λίπους ή ο ρόλος που μπορεί να έπαιξαν τα μαλλιά κάποιου ατόμου στη μέτρηση του ολικού όγκου του σώματος, καθώς και η επιλογή των ατόμων του δείγματος με βάση την παντελή έλλειψη προηγούμενης εμπειρίας όχι μόνο σε αυτή αλλά και στις υπόλοιπες μεθόδους μέτρησης της σύστασης του σώματος). Η μέθοδος της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και χρησιμοποιούνταν για την ανάλυση της σύστασης του σώματος στα βρέφη. Έπρεπε να έρθει όμως η δεκαετία του 1960 πριν αυτή η μέθοδος καταφέρει να μας δώσει σταθερές μετρήσεις. Από τότε βελτιώσεις στον εξοπλισμό έχουν καταφέρει να την απλοποιήσουν αρκετά σε σημείο μάλιστα που δεν απαιτείται τίποτε πλέον πέραν των θαλάμων του πληθυσμογράφου και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού που τους συνοδεύει. Παλιότερα ο πληθυσμογράφος έπρεπε να λειτουργεί σε ισοθερμικό περιβάλλον έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί ο νόμος του Boyle ($P_1/P_2 = V_2/V_1$) ο οποίος αποτελεί τη βασική αρχή της μεθόδου αυτής. Σήμερα οι θάλαμοι που αποτελούν το σύστημα του πληθυσμογράφου είναι ισοθερμικοί οι ίδιοι και ανεξάρτητοι από τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργούν χάρη στις εξελίξεις στην τεχνολογία των υλικών μονώσεως. Ο πρώτος πληθυσμογράφος εμπορικής χρήσης δεν αναπτύχθηκε παρά μόνο στα μέσα της δεκαετίας του 1990 με το όνομα που έχει πια κατοχυρωθεί το Bod Pod. Το Bod Pod διαφοροποιείται από τους πληθυσμογράφους που χρησιμοποιούνταν έως την εμφάνισή του από το γεγονός ότι είναι ανεξάρτητο της θερμοκρασίας που επικρατεί στον αέρα μέσα στους θαλάμους του και στις αυξομειώσεις τους κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Αυτό το καταφέρνει γιατί δεν βασίζεται στο νόμο του Boyle αλλά στο νόμο του Poisson ($P_1/P_2 = (V_2/V_1)^{\gamma}$) όπου γ είναι ο λόγος μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας σε σταθερή πίεση και του σταθερού όγκου και ισούται με 1.4 για τον αέρα⁵⁷.

Σε τρεις μελέτες που έγιναν σε παιδιά μετρήθηκε το ποσοστό σωματικού λίπους με τις μεθόδους της DEXA και του πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα. Τα παιδιά σε αυτές τις μελέτες ήταν από 6 έως 19 ετών και τόσο αγόρια όσο και κορίτσια. Σε δύο από τις μελέτες παρατηρήθηκε μια σημαντική μέση διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθόδους της τάξης του 3,9% και 2,1% του σωματικού λίπους, αλλά στην τρίτη δεν υπήρξε σχεδόν καθόλου διαφορά (0,1 %) στο σωματικό λίπος που εκτιμήθηκε. Η πρόβλεψη του σωματικού λίπους με τη μέθοδο DEXA από το σωματικό λίπος που εκτιμήθηκε με την μέθοδο της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα έδωσε μια καμπύλη συσχέτισης 1,02 στη μια μελέτη αλλά μια μικρότερη 0,86 στις άλλες. Το σωματικό λίπος που μετρήθηκε με τη πληθυσμογραφία μετατόπισης αέρα ήταν το 81-88% της διασποράς του σωματικού λίπους που μετρήθηκε με τη DEXA όπως δείχνει και η τιμή R^2 . Το κανονικό σφάλμα εκτίμησης κυμάνθηκε από 3,4% έως 4,1% του σωματικού λίπους, τιμές που ορίζονται σαν σχετικά καλές έως καλές από τον Lohman⁵⁸.

Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των μετρήσεων του πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα και της DEXA μπορεί να είναι αποτέλεσμα τόσο εξωγενών παραγόντων όπως τα ρούχα που φορούσαν τα άτομα που εξεταζόταν στους θαλάμους του πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα, η σειρά με την οποία έγιναν οι διάφορες εξετάσεις για τον καθορισμό της σύστασης του σώματος, και η εκτίμηση του όγκου θωρακικού αέρα, όσο και ενδογενών των μεθόδων (οι περιορισμοί της DEXA που

αναλύονται παρακάτω, και οι έμφυτες αδυναμίες της πυκνομετρίας και του μοντέλου δύο διαμερισμάτων που χρησιμοποιεί η μέθοδος πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα)⁵⁹.

Το μοντέλο δύο διαμερισμάτων για την μετατροπή της πυκνότητας σώματος (D_b) σε ποσοστό σωματικού λίπους διαιρεί το σώμα σε δύο τμήματα: σε σωματικό λίπος και καθαρή μάζα. Ανάμεσα στις παραδοχές που γίνονται στη χρήση αυτού του μοντέλου είναι και αυτή της πυκνότητας των δύο τμημάτων. Για το λίπος θεωρούμε πυκνότητα 0,9 Kg/L ενώ για την καθαρή μάζα η τιμή είναι 1,1 Kg/L. Επίσης θεωρούμε ότι οι τιμές αυτές είναι κοινές για όλα τα άτομα και τις πληθυσμιακές ομάδες. Αν και αυτοί οι αριθμοί μοιάζουν να είναι σχετικά ακριβείς για το γενικό πληθυσμό, είναι γνωστό ότι η πυκνότητα της καθαρής μάζας μπορεί να διαφέρει σημαντικά από την τιμή του 1,1 Kg/L για συγκεκριμένες ομάδες ή άτομα όπως είναι οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά ή οι μαύροι. Στις περιπτώσεις στις οποίες οι τιμές αποκλίνουν από τις υποθέσεις που έχουμε κάνει, οι εκτιμήσεις σύστασης σώματος που βασίζονται στο μοντέλο των δύο διαμερισμάτων είναι λανθασμένες. Το μοντέλο αυτό όμως μπορεί να διορθωθεί. Για παράδειγμα σε παιδιά και εφήβους που δεν έχουν φτάσει ακόμη σε χημική ωρίμανση και των οποίων η καθαρή μάζα έχει μεγαλύτερο ποσοστό νερού και μικρότερο ποσοστό μετάλλων και ιχνοστοιχείων, εξήχθησαν εξισώσεις πρόβλεψης για το μοντέλο των δυο διαμερισμάτων που ήταν συγκεκριμένες για το φύλο και την ηλικία από τον Lohman με τη χρήση κοινών εκτιμήσεων για αυτά τα ποσοστά. Αυτές οι εξισώσεις έχουν εφαρμογή σε άτομα ηλικίας 1 έως 18 χρονών και βελτιώνουν τις ομαδικές εκτιμήσεις του ποσοστού σωματικού λίπους με τις μεθόδους της πυκνομετρίας (τόσο της υδροπυκνομετρίας όσο και της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα) και είναι προτιμότερες από τις εξισώσεις του Siri ή του Brozek για αυτή την ηλικιακή ομάδα⁶⁰. Δεδομένα από την έρευνα του Roemmich περαιτέρω υποστηρίζουν τη χρήση αυτών των εξισώσεων. Τα δεδομένα αυτά δείξαν ότι σε νεαρούς εφήβους οι εξισώσεις του Lohman παρήγαγαν μια μέση εκτίμηση του ποσοστού του σωματικού λίπους στο δείγμα πολύ πιο κοντινή στις μετρήσεις του μοντέλου αναφοράς των τεσσάρων διαμερισμάτων, σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις που παράχθηκαν με βάση τις εξισώσεις του Siri. Παρά την καλύτερη ακρίβεια όμως τα ατομικά λάθη ήταν ακόμη σε υψηλά επίπεδα όπως έδειξε και το όριο συμφωνίας των Bland-Altman⁶¹.

Η μέθοδος της πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα είναι σαφώς πιο εύκολα ακολουθούμενη από ότι η υδροπυκνομετρία στην πληθυσμιακή ομάδα που μας ενδιαφέρει. Τα αποτελέσματά της είναι αρκετά κοντά σε αυτά της υδροπυκνομετρίας και η αξιοπιστία της υπολογίσιμη. Σε σύγκριση με τη μέθοδο ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια και παρόμοια αξιοπιστία, αλλά είναι σαφώς πιο δυσάρεστη σαν εμπειρία για το εξεταζόμενο άτομο και απαιτεί μεγαλύτερη προετοιμασία και περισσότερο χρόνο για τη λήψη των αποτελεσμάτων. Στα μειονεκτήματά της πρέπει να συμπεριληφθεί η αδυναμία μεταφοράς του εξοπλισμού από τοποθεσία σε τοποθεσία, η υψηλή ειδικευση του προσωπικού που απαιτείται και η πιθανότητα της εμφάνισης αισθήματος κλειστοφοβίας από τα άτομα που εξετάζονται κατά την παραμονή τους στο θάλαμο του πληθυσμογράφου μετατόπισης αέρα.

Δ.Μέθοδοι απεικόνισης (DEXA, αξονική και μαγνητική τομογραφία)

DEXA

Η αρχή της απορρόφησης της ενέργειας θεωρεί ότι όταν μια πηγή φωτονίων τοποθετηθεί στη μια πλευρά ενός αντικειμένου η ένταση της δέσμης ακτινοβολίας στην αντίθετη πλευρά είναι εξαρτώμενη από την πυκνότητα το πάχος και τη χημική σύσταση του αντικειμένου αυτού. Αυτό το φαινόμενο της εξασθένησης της ακτινοβολίας εξαρτάται επίσης από την ενέργεια της προσπίπτουσας δέσμης φωτονίων και υπακούει στις δύο αρχές της χαμηλής ενέργειας: του φωτοηλεκτρικού αποτελέσματος και της διασποράς του Compton⁶². Η διασπορά που παρατηρείται δεν είναι γραμμική και για ένα ομοιογενές αντικείμενο μπορεί να περιγραφεί με την παρακάτω εκθετική εξίσωση:

$$I = I_0 e^{-\mu T}$$

όπου I είναι η ένταση εκπομπής I_0 είναι η προσπίπτουσα ένταση, T είναι το πάχος του αντικειμένου και μ είναι ο συντελεστής γραμμικής εξασθένησης. Όταν το πάχος του αντικειμένου απορρόφησης είναι γνωστό η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$M = (1/\mu_m) \ln(I_0/I)$$

Όπου M είναι η μάζα του αντικειμένου και μ_m είναι ο συντελεστής εξασθένησης μάζας. Αν το αντικείμενο απορρόφησης αποτελείται από δύο ή περισσότερα υλικά τότε το συναθροισμένο μ_m είναι το άθροισμα των δύο ή περισσότερων επιμέρους συντελεστών εξασθένησης μάζας υλικών μετρημένων για την κλασματική συνεισφορά του καθένas στην ολική μάζα.

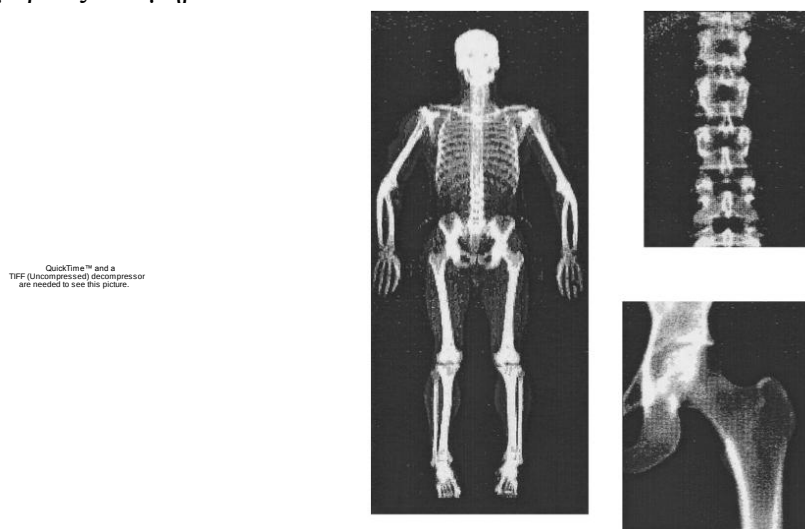
Η εξασθένηση που παρατηρείται όταν μια δέσμη φωτονίων περνά μέσα από οστά, καθαρό ιστό, και λίπος είναι διαφορετική, αντικατοπτρίζοντας έτσι τις διαφορές στην πυκνότητα και τη χημική σύσταση του καθενός. Όταν αυξάνεται η ενέργεια των φωτονίων οι διαφορές στην εξασθένηση που προκαλούν αυτοί οι ιστοί μειώνονται. Θεωρητικές και πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι εάν τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας (L) είναι περίπου 40KeV ενώ τα φωτόνια υψηλής ενέργειας (H) στο εύρος των 70 με 100 Kev, τότε η μάζα των οστών (B) και η μάζα του μαλακού ιστού (ST) κατά μήκος της διαδρομής της δέσμης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$M_{ST} = (\mu_{BL} L R_H - \mu_{BH} L R_L) / (\mu_{BH} \mu_{STL} - \mu_{STH} \mu_{BL})$$

$$M_B = (\mu_{STL} L R_H - \mu_{STH} L R_L) / (\mu_{STH} \mu_{BL} - \mu_{BH} \mu_{BL})$$

όπου $L R_H$ είναι ο $\ln(I/I_0)$ στην ψηλότερη ενέργεια και $L R_L$ είναι ο ίδιος λόγος για την χαμηλότερη ενέργεια. Έτσι αν μπορεί να υπολογιστεί η σχετική ένταση της εκπεμπόμενης δέσμης και εάν οι συντελεστές εξασθένησης μάζας είναι γνωστοί με ακρίβεια, μπορούν να γίνουν υπολογισμοί και εκτιμήσεις τόσο της οστικής μάζας όσο και της μάζας του μαλακού ιστού που την περιβάλλει. Αυτό το μοντέλο εξισώσεων δύο διαμερισμάτων χρησιμοποιείται επίσης όταν μετρώνται περιοχές του σώματος που δεν έχουν οστά. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι συντελεστές εξασθένησης είναι αυτοί του λίπους (F) και της καθαρής μάζας (S) αντίστοιχα.

Είναι προφανές ότι η DEXA χρησιμοποιεί στην ουσία δύο εξισώσεις που η κάθε μία βασίζεται στο μοντέλο των δύο διαμερισμάτων. Μπορούμε λοιπόν να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος μέτρησης απορρόφησης ακτινοβολίας ακτίνων Χ διπλής ενέργειας δεν μας δίνει τρεις ανεξάρτητες μετρήσεις ακόμη και αν στα αποτελέσματα λαμβάνουμε τρεις τιμές (αυτές της περιεκτικότητας των οστών σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία, της καθαρής μάζας χωρίς οστά, και της μάζας του λίπους). Για να μπορέσουμε να λάβουμε αυτές τις τιμές οι κατασκευαστές θεωρούν ότι η σύσταση του μαλακού ιστού που περιβάλλει μια οστική μάζα έχει τον ίδιο λόγο λίπους και καθαρής μάζας με αυτόν που έχουν οι περιοχές χωρίς οστική μάζα στο ίδιο πεδίο σάρωσης⁶³. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε κάποιες τυπικές απεικονίσεις της DEXA για ολόκληρο το σώμα, της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, και του πάνω μέρους του μηριαίου οστού.



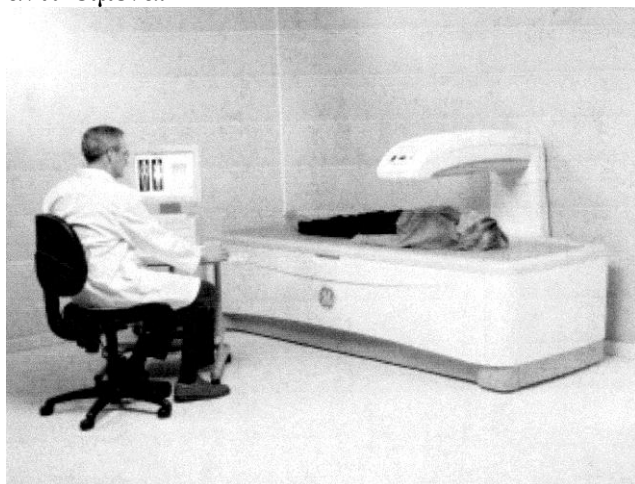
Εικόνα 16 Απεικονίσεις που έχουν ληφθεί με τη μέθοδο της DEXA

Στην περίπτωση της σάρωσης όλου του σώματος περίπου 40 με 45% των εικονοστοιχείων θεωρούνται σαν περιέχοντα οστά. Τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του λόγου λίπους – καθαρής μάζας του σώματος, και η τιμή αυτή εφαρμόζεται στο μέρος του μαλακού ιστού που εφάπτεται των οστών. Το αποτέλεσμα είναι ότι η εκτίμηση της αναλογίας λίπους-καθαρής μάζας της σύστασης του ολικού μαλακού ιστού του σώματος βασίζεται στα δεδομένα που λαμβάνονται από το μισό σώμα. Κάποιοι αναλυτές έχουν εκφράσει επιφυλάξεις για αυτήν την προσέγγιση όπως και για τις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχουν δραματικές αλλαγές στην ενυδάτωση της καθαρής μάζας χωρίς οστά (αν και οι τελευταίες θεωρητικές μελέτες έχουν δείξει ότι αλλαγές στην ενυδάτωση δεν αλλάζουν δραματικά τις μετρήσεις της οστικής, της λιπώδους ή της καθαρής μάζας)⁶⁴.

Οι μετρήσεις της DEXA για όλο το σώμα δεν έχουν συγκριθεί με μελέτες ανάλυσης ανθρωπίνων πτωμάτων, αλλά υπάρχουν πολλές μελέτες που χρησιμοποιούν πτώματα ζώων για τις απαραίτητες συγκρίσεις. Η ακρίβεια της DEXA έχει πιστοποιηθεί με βάση τη σύγκριση της μεθόδου για την εκτίμηση της περιεκτικότητας των οστών σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία, της μάζας καθαρού ιστού και της λιπώδους μάζας, με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που ληφθήκαν με τη μέθοδο της ενεργοποίησης νετρονίων χρησιμοποιώντας ένα πολυδιαμερισματικό μοντέλο. Η ακρίβεια της DEXA κρίθηκε ικανοποιητική. Η διαφορές στις εκτιμήσεις κυμάνθηκαν περίπου στο 2 με 3 % και αποδίδονται κατά κύριο λόγο στην τεχνολογία της DEXA και στις μεθόδους βαθμονόμησης που χρησιμοποιήθηκαν. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο της σύγκρισης είναι οι διαφορές που προκύψαν στις μετρήσεις του ίδιου ατόμου με

όργανα DEXA διαφορετικών κατασκευαστών και οι οποίες ήταν σημαντικές σε ότι αφορούσε στα επιμέρους συστατικά του σώματος. Αυτές οι διαφορές αποδόθηκαν στον τρόπο με τον οποίο οι αλγόριθμοι του λογισμικού διαχώρισαν τους μαλακούς ιστούς στα συστατικά της καθαρής μάζας και του λίπους, ειδικά στις περιπτώσεις που υπήρχε υπερβολικά ανώμαλη ποσότητα λιπώδους μάζας⁶⁵.

Η πρωταρχική λειτουργία της DEXA ήταν η λήψη μετρήσεων πυκνότητας οστικής μάζας από πολύ συγκεκριμένα σημεία της οσφυϊκής χώρας της σπονδυλικής στήλης, του μηρού και της ωλένης. Η πυκνότητα οστικής μάζας ορίζεται ως ο λόγος του περιεχομένου της οστικής μάζας δια την μετρήσιμη περιοχή του οστού μέσα στο πεδίο σάρωσης για όλα τα εικονοστοιχεία που χαρακτηρίζονται ως περιέχοντα οστά. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πυκνότητα οστικής μάζας δεν είναι πραγματική πυκνότητα οστών (g/cm^3) όπως αυτή λαμβάνεται από την αξονική τομογραφία. Η δυνατότητα της DEXA να δώσει ακριβείς εκτιμήσεις του ολικού σωματικού λίπους θα μπορούσε να την κάνει να αντικαταστήσει κάποιες από τις πιο χρονοβόρες και απαιτητικές μεθόδους (τουλάχιστον σε επίπεδο σωματικής καταπόνησης) όπως η υδροπυκνομετρία. Οι μετρήσεις της DEXA είναι γρήγορες άνετες για το εξεταζόμενο άτομο και δεν απαιτεί το γδύσιμό του αρκεί να μην έχει πάνω του μεταλλικά αντικείμενα.



Εικόνα 17 Ένας αναλυτής DEXA της εταιρείας GE Medical Systems Inc. (πρώην Lunar)



Εικόνα 18 ...και ένας που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της σωματικής σύστασης σε παιδιά.

Είναι κοινή επίθεση ανάμεσα στους αναλυτές ότι η DEXA αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μέτρηση της σύστασης του ανθρώπινου σώματος σε κλινικά ή εργαστηριακά περιβάλλοντα. Μια σημαντική σε αριθμό έρευνα σχετιζόμενη με τη μεθοδολογία έχει γίνει σε αυτές τις δύο δεκαετίες⁶⁶. Στα πρώτα χρόνια η έρευνα είχε να κάνει με την αξιολόγηση των μετρήσεων που χρησιμοποιούσαν αναλυτές κλειστής δέσμης (Pencil beam) σε σύγκριση με μετρήσεις που είχαν ληφθεί από άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούσαν το μοντέλο των πολλαπλών διαμερισμάτων. Αν και τα αποτελέσματα αυτών των αξιολογήσεων ήταν κατ' αρχή θετικά υπήρχαν ορισμένες αμφιβολίες και ανησυχίες για κάποια επιμέρους θέματα. Ο Flaskey και οι συνεργάτες του πρώτοι παρατήρησαν κάποιες ασυμφωνίες στις μετρήσεις που ήταν ανάλογες του εμπρόσθιου ή του οπίσθιου πάχους του σώματος. Όμοια ο Jebb⁶⁷ και οι συνεργάτες του στις δικές τους μετρήσεις παρατήρησαν ότι οι εκτιμήσεις για τη σύσταση του σώματος που λάμβαναν μέσω της DEXA ήταν λιγότερο ακριβείς όταν η απόσταση μεταξύ του πρόσθιου μέρους του σώματος και του οπίσθιου αντίστοιχου ήταν μεγαλύτερη των 25 εκατοστών στην ύπτια θέση. Όλοι αυτοί οι αναλυτές κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα. Μια μεγάλη μάζα εμπρόσθιου και οπίσθιου ιστού ήταν υπεύθυνη για την εξασθένηση των ακτίνων X διπλής ενέργειας, γεγονός που οδηγούσε στη λήψη αποτελεσμάτων μικρότερης ακρίβειας⁶⁷. Η εξέλιξη της τεχνολογίας των οργάνων μέτρησης DEXA δημιούργησε την ανοικτή δέσμη σάρωσης (fan beam). Η τεχνολογία αυτή επέφερε αλλαγές τόσο στην κατασκευή των οργάνων όσο και στην ανάπτυξη του λογισμικού επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για να εξάγει την εκτίμηση της σύστασης του σώματος από τις μετρήσεις του οργάνου. Η ανοικτή δέσμη σάρωσης κατανέμει τις ακτίνες X σε μια πιο πλατιά περιοχή η οποία μοιάζει σαν μια ανοιχτή βεντάλια. Οι ακτίνες X επικαλύπτουν η μία την άλλη και απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός ανιχνευτών για να μετρηθεί το στίγμα τους.

Οι ανιχνευτές ανοιχτής δέσμης έχουν το πλεονέκτημα της βελτιωμένης γεωμετρικής ανάλυσης και το μειονέκτημα των λαθών που προκαλούνται ως αποτέλεσμα της μεγέθυνσης. Ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα ανιχνευτών οι πραγματικοί ανιχνευτές ανοιχτής δέσμης έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στόχευσης και αποτελεσμάτων μικρότερους χρόνους και πλατύτερο πεδίο ανίχνευσης από τους ανιχνευτές κλειστής δέσμης οι οποίοι παρουσιάζουν μια επίκτητη επικάλυψη στην λήψη των εικόνων, μικρότερο αριθμό ανιχνευτών και φτωχότερη ποιότητα απεικόνισης⁶⁸.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η θεμελιώδης αρχή της DEXA είναι η δυνατότητα να ποσοτοποιήσει την μείωση της ακτινοβολίας που διέρχεται μέσα από τα οστά και τους μαλακούς ιστούς με τη χρήση είτε φίλτρων K-edge, είτε με τη χρήση παλμικών πηγών ενέργειας στο σωλήνα των ακτίνων X. Κατ' επέκταση η μείωση των δυο ακτινοβολιών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της σύστασης των οστών της καθαρής μάζας και του λίπους. Η προγενέστερη τεχνολογία που χρησιμοποιούσε η μέθοδος αυτή βασιζόταν σε λεπτές δέσμες ακτινοβολίας, όπου μια δέσμη υψηλής συγκέντρωσης κινούνταν συγχρόνως με έναν ανιχνευτή κατά μήκος της διαδρομής ανίχνευσης. Τα καινούργια μοντέλα χρησιμοποιούν την ανοιχτή δέσμη (μια δέσμη ακτινοβολίας που ανοίγει σαν βεντάλια). Τα δεδομένα συλλέγονται συγχρόνως με την ανίχνευση και κατά μήκος όλης της γραμμής της κάτι που μειώνει κατά πολύ το χρόνο που απαιτείται για το πέρας της ανάλυσης.

Οι τρεις κυριότεροι κατασκευαστές πυκνομετρητών οστών είναι οι GE Medical Systems Inc. (πρώην Lunar), Hologic Inc., και η Cooper Surgical (πρώην Norland

Medical systems Inc.). Ο πίνακας μας δείχνει τα χαρακτηριστικά των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων οργάνων και των κατασκευαστών τους.

Κατασκευαστής / Πυκνομετρητής	Ανώτατο όριο Κιλών (Kg)	Διαστάσεις τράπεζας (cm)
GE Lunar Prodigy Advance	159	197.5 x 60
GE Lunar Prodigy	136	197.5 x 60
GE Lunar DPX-MD	136	196.8 x 57.6
Hologic QDR series	136	195.6 x 65-67
Hologic Discovery series	159	195.6 x 67
Norland XR-46	114	193 x 64
Norland XR-36	114	193 x 64

Πίνακας 8

Περιορισμοί της DEXA

Μιας και η DEXA δεν βασίζεται στο μοντέλο των δύο διαμερισμάτων για να παράσχει εκτιμήσεις της σύστασης του σώματος και επίσης δεν βασίζεται στην απόδοση του εξεταζόμενου ατόμου, έχει αναπτύξει τη φήμη της μεθόδου αναφοράς με την οποία συγκρίνονται άλλες μέθοδοι για τον καθορισμό της αξίας τους. Αλλά όπως και κάθε άλλη μέθοδος έτσι και η DEXA είναι αντικείμενο σφαλμάτων και περιορισμών. Συγκρινόμενη με χημικές μεθόδους η DEXA βρέθηκε να υποεκτιμά το ποσοστό λιπώδους μάζας σε χοιρινές ωμοπλάτες από 5 έως 8 % κατά μέσο όρο, ενώ υπερεκτίμησε το ποσοστό σωματικού λίπους σε μικρά ζώα έως και 30% κατά μέσο όρο. Επίσης οι μετρήσεις του ποσοστού σωματικού λίπους, λιπώδους μάζας, καθαρής μάζας και των μεταλλικών ιχνοστοιχείων οστών έχουν βρεθεί να διαφέρουν από μοντέλο σε μοντέλο, από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, από το είδος δέσμης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται, από την έκδοση του λογισμικού επεξεργασίας δεδομένων, από το πάχος του δέρματος του εξεταζόμενου ατόμου. Ο Tothill συνέκρινε αποτελέσματα σύστασης σώματος που ληφθήκαν με όργανα των τριών κύριων κατασκευαστών και κατέληξε σε μεγάλες αποκλίσεις από όργανο σε όργανο ακόμα και μεταξύ μοντέλων του ίδιου κατασκευαστή. Οι αποκλίσεις αυτές αποδοθήκαν κυρίως σε προβλήματα καλιμπραρίσματος των οργάνων αλλά και στον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την ανάλυση των δεδομένων διαιρεί τα εικονοστοιχεία της λήψης σε οστική, καθαρή μάζα, ή λιπώδη μάζα⁶⁹.

Age Group, yr	BMC, g	Lean Tissue Mass, kg	Fat Mass, kg	%Fat
<i>Males</i>				
White/European-American (n = 145)				
3-5	423 ± 94	13.25 ± 1.29	2.92 ± 0.44	17.6 ± 2.0
5-9	793 ± 232	20.42 ± 3.95	4.84 ± 3.83	17.1 ± 6.5
10-14	1,655 ± 496	37.74 ± 9.49	12.10 ± 8.41	22.2 ± 10.3
15-18	2,545 ± 430	53.58 ± 7.25	19.26 ± 6.29	14.8 ± 7.0
Black/African-American (n = 78)				
3-5	456 ± 106	14.70 ± 2.22	2.43 ± 0.71	13.7 ± 3.0
5-9	900 ± 195	22.54 ± 3.89	5.20 ± 4.53	16.7 ± 9.4
10-14	2,038 ± 633	45.73 ± 13.4	12.54 ± 10.57	19.2 ± 9.7
15-18	3,181 ± 440	65.51 ± 8.04	14.43 ± 10.30	16.7 ± 10.5
Hispanic/Mexican-American (n = 74)				
3-5	403 ± 63	12.10 ± 1.27	3.28 ± 1.22	20.4 ± 4.8
5-9	827 ± 192	21.42 ± 3.71	7.38 ± 3.38	23.9 ± 6.9
10-14	1,724 ± 475	39.48 ± 9.38	14.81 ± 6.99	26.0 ± 10.3
15-18	2,545 ± 334	53.57 ± 5.99	12.06 ± 7.96	16.6 ± 7.2
<i>Females</i>				
White/European-American (n = 143)				
3-5	447 ± 93	13.3 ± 1.4	3.5 ± 1.1	20.2 ± 4.7
5-9	528 ± 136	16.5 ± 2.4	5.0 ± 2.2	21.9 ± 5.5
9-11	1,057 ± 246	24.5 ± 4.0	8.8 ± 4.4	24.5 ± 7.8
12-14	1,581 ± 350	33.3 ± 4.9	15.2 ± 7.7	28.9 ± 7.7
15-17	1,987 ± 269	37.9 ± 4.2	15.3 ± 5.3	27.2 ± 5.8
Black/African-American (n = 106)				
3-5	430 ± 187	12.8 ± 3.3	3.8 ± 2.3	21.1 ± 5.9
5-9	844 ± 272	20.2 ± 3.5	7.2 ± 4.9	23.4 ± 8.4
9-11	1,339 ± 325	31.1 ± 5.9	13.5 ± 7.0	27.4 ± 9.0
12-14	1,876 ± 412	36.7 ± 5.7	17.6 ± 9.9	29.5 ± 8.8
15-17	2,148 ± 441	40.6 ± 8.9	21.9 ± 13.8	31.6 ± 9.3
Hispanic/Mexican-American (n = 42)				
3-5	413 ± 92	12.7 ± 2.8	4.6 ± 3.5	23.7 ± 10.2
5-9	626 ± 66	16.4 ± 1.9	6.3 ± 3.3	25.6 ± 7.7
9-11	1,119 ± 417	24.8 ± 5.7	12.1 ± 6.2	30.4 ± 7.3
12-14	1,584 ± 196	34.3 ± 4.1	17.7 ± 9.2	31.2 ± 10.0
15-17	2,108 ± 355	40.3 ± 6.9	26.7 ± 10.5	37.5 ± 6.0

Πίνακας 9 Οι τιμές είναι μέσες τιμές ± την κανονική διασπορά. Οι μετρήσεις έγιναν με τη χρήση του οργάνου Hologic QDR-2000.

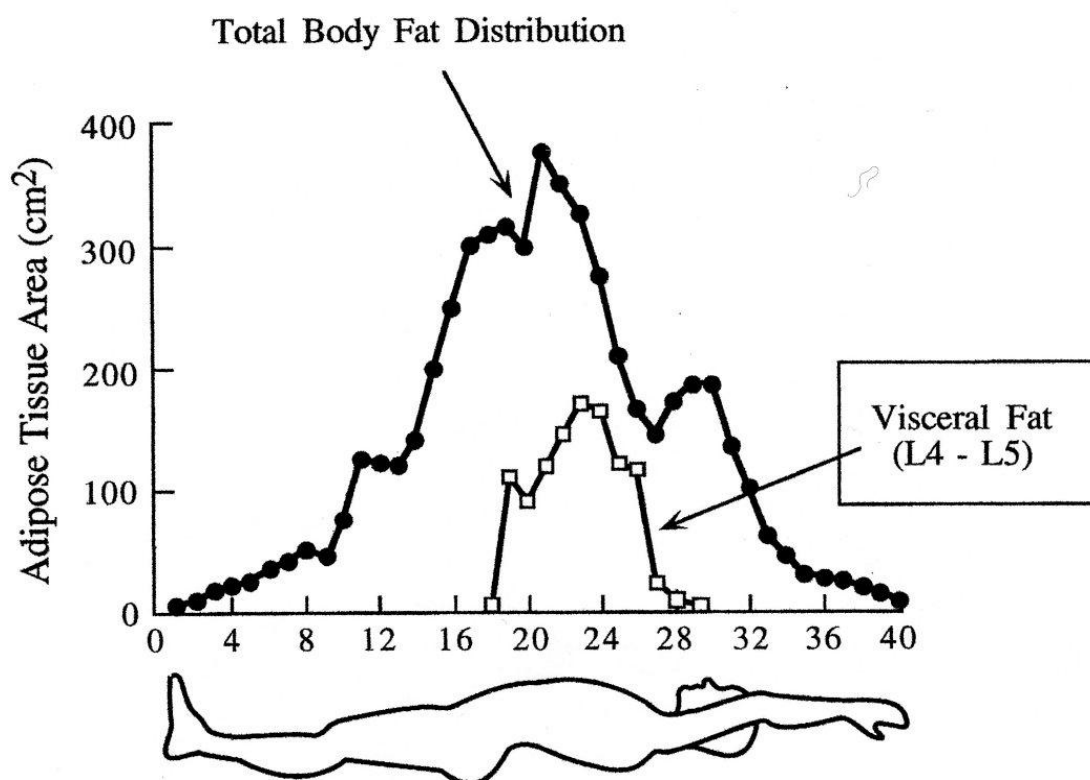
Στον παραπάνω πίνακα παρατίθενται τιμές ολικής σωματικής σύστασης που ελήφθησαν με τη χρήση της DEXA για παιδιά και εφήβους από 3 έως 18 χρονών, κατανεμημένα ανά ηλικία και εθνικότητα.

Μαγνητική Τομογραφία

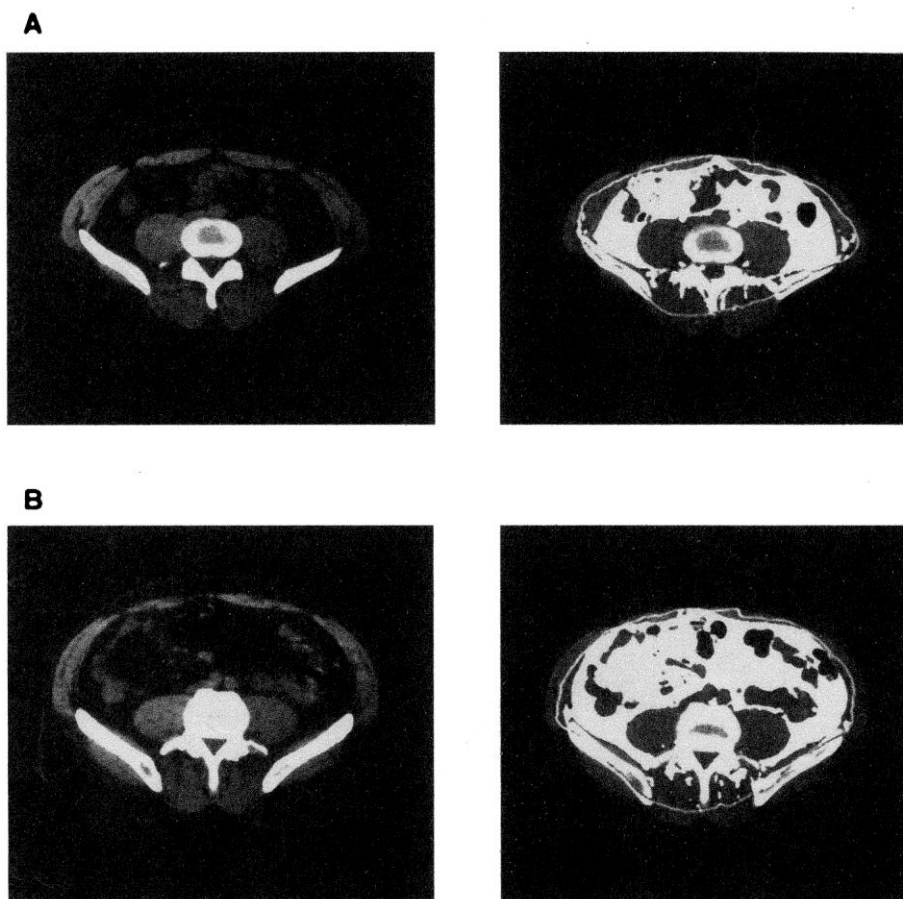
Η δύναμη του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι πολύ ασθενής και έτσι τα άτομα και τα μόρια που αποτελούν το σώμα μας βρίσκονται σε τυχαίους προσανατολισμούς. Όταν όμως το σώμα τοποθετηθεί μέσα σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο κάποιοι πυρήνες θα επιχειρήσουν να προσανατολίσουν παράλληλα ή αντιπαράλληλα με το μαγνητικό πεδίο. Συγκεκριμένα τα πρωτόνια υδρογόνου έχουν μια μεγάλη τάση αλλαγής του προσανατολισμού τους σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο. Και άλλα άτομα στο ανθρώπινο σώμα παρουσιάζουν όμοιες τάσεις αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό από αυτόν των πρωτονίων του υδρογόνου. Αν και λίγοι πυρήνες θα επιχειρήσουν να επαναπροσανατολιστούν, ο αριθμός τους είναι αρκετός για να μας επιτρέψει να ανιχνεύσουμε μια αλλαγή στον προσανατολισμό τους όταν το μαγνητικό πεδίο παύει να υφίσταται ή όταν αλλάζει με οποιοδήποτε τρόπο. Η συχνότητα με την οποία οι πυρήνες κάθε στοιχείου θα στραφούν προς τη μία ή την άλλη κατεύθυνση ανάλογα με τη φορά του μαγνητικού πεδίου, είναι γνωστή σαν η συχνότητα του Larmor. Αν στη συχνότητα Larmor εφαρμόσουμε μια ραδιοσυχνότητα κάθετα στην φορά του μαγνητικού πεδίου οι πυρήνες θα απορροφήσουν αυτή την ενέργεια και θα επιχειρήσουν να στραφούν ξανά και να αλλάξουν προσανατολισμό. Όταν η ραδιοσυχνότητα πάψει να υφίσταται οι πυρήνες θα χάσουν τον προσανατολισμό τους και θα απελευθερώσουν την αποθηκευμένη τους ενέργεια. Η ένταση αυτής της απελευθέρωσης μπορεί να καταγραφεί και να μας δώσει μια μέτρηση των πυρήνων υδρογόνου στον ιστό. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί σε κάθε στάση κατά το μήκος του όλου σώματος, μέχρι ολόκληρο το σώμα να χαρτογραφηθεί και εικόνες μαγνητικής τομογραφίας να ληφθούν από κάθε κομμάτι. Η μαγνητική απεικόνιση είναι επιτυχημένη μέθοδος γιατί το υδρογόνο, το οποίο υπάρχει κατά κύριο λόγο στο νερό, είναι ένα από τα ελεύθερα στοιχεία σε πλεόνασμα στο σώμα. Για άλλα στοιχεία των οποίων η συγκέντρωση είναι μικρότερη στο σώμα απαιτείται ένα μαγνητικό πεδίο μεγαλύτερης ισχύος αν θέλουμε να έχουμε μια μαγνητική απεικόνισή τους. Αν η πυκνότητα του υδρογόνου του λιπώδους και του καθαρού ιστού ήταν αξιοσημείωτα διαφορετικές τότε θα ήταν δυνατό να έχουμε εικόνες βασισμένες καθαρά στον αριθμό των πυρήνων τους. Αλλά αυτό δεν ισχύει. Έτσι λοιπόν για να ενισχυθεί η αντίθεση μεταξύ λιπώδους και καθαρού ιστού χρησιμοποιείται και μια δεύτερη ιδιότητα των πυρήνων που λέγεται χρόνος χαλάρωσης (T1). Αυτός είναι ο χρόνος που απαιτείται για τον πυρήνα να απελευθερώσει την ενέργεια που μετέδωσε η ραδιοσυχνότητα και να επιστρέψει σε τυχαία θέση. Ο χρόνος χαλάρωσης για τα πρωτόνια του λίπους είναι πολύ πιο μικρός από αυτόν για τα πρωτόνια του νερού. Αυτή η αντίθεση μπορεί να μεγιστοποιηθεί με τη ρύθμιση του χρονικού διαστήματος του παλμού της ραδιοσυχνότητας και του χρόνου ανίχνευσης του παραγόμενου σήματος. Η όλη διαδικασία είναι γνωστή σαν σειρά παλμού. Μια άλλη προσέγγιση στο θέμα της αύξησης της αντίθεσης σχετίζεται ξανά με τη διαφορά του χρόνου χαλάρωσης των πρωτονίων του λιπώδους και του καθαρού ιστού, είναι η επανομαζόμενη ανάκτηση αντιστροφής. Αλλά ο χρόνος που απαιτείται για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι υπερβολικός και γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται παρά σπάνια⁷⁰. Ανάλογα με την σειρά παλμού που χρησιμοποιείται ο χρόνος για την παραγωγή μιας απεικόνισης της κοιλιάς μπορεί να κυμανθεί από 8 έως 10 λεπτά ή και περισσότερο αν και οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις μπορεί να μειώσουν το χρόνο κατά περίπου 30 δευτερόλεπτα ανά τμήμα. Για μια μέτρηση όλου του σώματος απαιτείται μια σειρά

από πολλαπλές σαρώσεις κατά μήκος του σώματος, και μπορεί να απαιτηθεί από το εξεταζόμενο άτομο να παραμείνει στον κύλινδρο του μαγνητικού τομογράφου για περισσότερα από τριάντα λεπτά. Για την αποφυγή δημιουργίας ψευδών ειδώλων κατά τη διάρκεια της σάρωσης το άτομο που εξετάζεται κρατά την αναπνοή του για τη διάρκεια της σάρωσης των τμημάτων της κοιλιακής χώρας. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η σχετική κατανομή του ολικού σωματικού λίπους κατά μήκος του σώματος όπως λήφθηκε από μια μαγνητική απεικόνιση όλου του σώματος⁴⁷.

Εικόνες που προκύπτουν με την μαγνητική τομογραφία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον διαχωρισμό του υποδόριου λιπώδους ιστού από τον σπλαχνικό λιπώδη ιστό. Διάφορες μελέτες έχουν εξετάσει τη σχέση μεταξύ υποδόριου και σπλαχνικού λιπώδους ιστού τόσο σε παιδιά όσο και σε ενήλικες⁷². Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εξισώσεις που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό τόσο του υποδόριου όσο και του σπλαχνικού λιπώδους ιστού, και είναι βασισμένες στις ανθρωπομετρικές μετρήσεις, όπως οι μετρήσεις περιφέρειας μέσης και οι μετρήσεις των δερματοπτυχών. Αν και οι εξισώσεις αυτές μπορούν να δώσουν καλές προβλέψεις για το μέσο όρο του σπλαχνικού λίπους μιας πληθυσμιακής ομάδας, αντιμετωπίζουν μεγάλους περιορισμούς στο να είναι ακριβείς για τις κατ' άτομο προβλέψεις. Η χρήση της μαγνητικής απεικόνισης έχει αυτό το πλεονέκτημα. Η κατ' άτομο ακρίβεια των μετρήσεων είναι πολύ υψηλή.



Εικόνα 19 Η κατανομή του ολικού σωματικού λίπους και του σπλαχνικού λίπους στο σώμα ενός μη παχύσαρκου ενήλικα όπως προκύπτει από τη χρήση της μαγνητικής απεικόνισης.



Εικόνα 20 Εικόνες που ληφθήκαν με μαγνητική τομογραφία για ένα έφηβο (A) και ένα μεσήλικα (B) με το ίδιο ολικό σωματικό λίπος.

	<i>n</i>	<i>R</i> ²	Reference No.
Adult males (<i>n</i> = 89)			
TBF = 0.05234AAT + 2.8788	89	0.92	68
VAT = 0.0845(WC × HC) + 5.12%fat - 13.715	61	0.73	165
SAT = 3.136WC + 3.663%fat - 237.539		0.81	
VAT = 2.125Age + 2.8343WC - 225.39	110	0.74	68
VAT = 1.05Age + 3.03WC + 4.68BMI - 350	66	0.76	283
SAT = 0.69Age + 3.88WC + 8.83BMI - 413		0.74	
Adult females			
TBF = 0.0593AAT + 1.6589	75	0.97	68
VAT = 1.4Age - 1.6Wt + 2.6HC + 11.4SD - 283	99	0.75	10
VAT = 23.4AFM + 36.6LSSF + 508.2WHR - 503	25	0.91	303
VAT = 4.76SD + 0.76Age + 1.73WC + 0.74PFP - 211.2		0.81	320
Children (<i>n</i> = 101)			
White VAT = 0.23 × SAT + 13	36	0.75	253
Black VAT = 0.17 × SAT + 11	65	0.70	

Πίνακας 10 Κάποιες από τις εξισώσεις που έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό τόσο του υποδόριου όσο και του σπλαχνικού λιπώδους ιστού κάνοντας χρήση των μετρήσεων των ανθρωπομετρικών μεθόδων.

Αποτελέσματα από την νεκροτομή τόσο πτωμάτων ζώων όσο και πτωμάτων ανθρώπων έχουν χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση της ακρίβειας των εκτιμήσεων της μαγνητικής τομογραφίας για τον λιπώδη ιστό και την ανατομική του κατανομή. Για τον υποδόριο κοιλιακό λιπώδη ιστό και για τον σπλαχνικό λιπώδη ιστό (για τα ενδοκοιλιακά και περικοιλιακά αποθέματα) τα αποτελέσματα της νεκροτομής τριών πτωμάτων παρουσίασαν συμφωνία με τα αποτελέσματα της μαγνητικής τομογραφίας με μια μέση διαφορά περίπου 6% ή 0.08 Kg. Παρόμοια συμφωνία παρατηρήθηκε και στις μετρήσεις της καθαρής μάζας⁷³.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που παρέχει η μαγνητική απεικόνιση στη μελέτη της σύστασης του σώματος είναι η δυνατότητα που έχει να παρακολουθεί τις αλλαγές στο σπλαχνικό και υποδόριο λιπώδη ιστό ξεχωριστά, κάτι που προς το παρόν είναι ανέφικτο με τις μεθόδους που μας είναι διαθέσιμες (εκτός της αξονικής τομογραφίας). Αυτή η πληροφορία είναι απαραίτητη για την κατάταξη ενός εξεταζόμενου ατόμου σε κατηγορίες κινδύνου εμφάνισης ασθενειών σχετιζόμενες με την παχυσαρκία⁷⁴. Οι εκτιμήσεις της κατανομής σπλαχνικού και υποδόριου λίπους έτσι όπως προκύπτουν από τη μαγνητική απεικόνιση σήμερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάλλιστα ως μέτρο για την αποτελεσματικότητα των διάφορων μελλοντικών αγωγών για την παχυσαρκία.

Αξονικός τομογράφος

Αυτή η τομογραφική μέθοδος χρησιμοποιεί ακτίνες X που είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένες και παραλληλισμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν μια δέσμη ακτινοβολίας σχήματος βεντάλιας η οποία περνά από το σώμα ενώ μια διάταξη ανιχνευτών είναι τοποθετημένη στην αντίθετη πλευρά και καταγράφει την μεταδιδόμενη ακτινοβολία. Ο συνδυασμός της πηγής των ακτίνων X και των ανιχνευτών περιστρέφεται συγχρόνως γύρω από το σώμα καλύπτοντας έτσι μια οπτική γωνία 360 μοιρών. Κάποια μοντέλα αξονικών τομογράφων έχουν σταθερούς ανιχνευτές σε όλο το δακτύλιο περιστροφής και περιστρέφουν μόνο την πηγή των ακτίνων X. Σε κάθε μοίρα περιστροφής η ακτινοβολία καταγράφεται για κάθε ανιχνευτή παρέχοντας έτσι πληροφορίες για την εσωτερική δομή του σώματος μέσα από το οποίο διέρχεται η δέσμη της ακτινοβολίας. Ο σχηματισμός της απεικόνισης ως αποτέλεσμα της αξονικής τομογραφίας γίνεται με τη χρήση πολλών αλγόριθμων που έχουν αναπτυχθεί για να επεξεργάζονται τα δεδομένα που αποθηκεύουν οι αισθητήρες. Η ανατομική απεικόνιση που λαμβάνουμε με τον αξονικό τομογράφο είναι όμοια αυτής που προκύπτει με τη χρήση του μαγνητικού τομογράφου. Η απεικόνιση του αξονικού τομογράφου όμως εμπεριέχει και πληροφορίες για την πραγματική πυκνότητα των ιστών σε κάθε εικονοστοιχείο της. Όταν αυτή η πληροφορία συνδυαστεί με την ανατομικά ακριβή θέση του εικονοστοιχείου μέσα στην απεικόνιση τότε μπορεί με σαφήνεια να οριστεί ως λιπώδης ιστός, μυϊκός ιστός, δέρμα, φλέβα, όργανο, ή οστό. Η αναδόμηση της ολικής μάζας του σώματος και της μάζας των οργάνων ξεχωριστά που βασίστηκε σε αξονικές τομογραφίες όλου του σώματος που ελήφθησαν σε ζώνες πλάτους 10 εκατοστών η κάθε μία, παρουσίασε εξαιρετική ακρίβεια και αξιοπιστία, με ποσοστό σφάλματος μικρότερο του 1% και στους δύο τομείς⁷⁵. Οι εικόνες που λαμβάνουμε με τον αξονικό τομογράφο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον διαχωρισμό της μάζας του λιπώδους ιστού στο υποδόριο και σπλαχνικό μέρος του, και την καθαρή μάζα στα επιμέρους στοιχεία της οστικής μάζας, της μάζας των μυώνων και των οργάνων. Όσον αφορά στα οστά μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την πυκνότητά τους σε φλοιώδη ή δοκιδωτά. Από τις μελέτες προκύπτει επίσης ότι οι απεικονίσεις που λαμβάνονται με αξονικό

τομογράφο είναι πιο ακριβείς από αυτές που λαμβάνουμε με ένα μαγνητικό τομογράφο στον καθορισμό του σπλαχνικού λιπώδους ιστού⁷⁶. Άλλο πλεονέκτημα της αξονικής τομογραφίας σε σύγκριση με τη μαγνητική είναι οι μικρότεροι χρόνοι που απαιτούνται για τη σάρωση ανάλογης περιοχής (τομής). Το μειονέκτημα της αξονικής τομογραφίας είναι η δόση της ακτινοβολίας που απαιτείται για την απεικόνιση της εκάστοτε τομής και που λαμβάνει το εξεταζόμενο άτομο. Τον τελευταίο καιρό γίνεται έρευνα για τη μείωση της ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της αξονικής τομογραφίας που προορίζεται για χρήση καθορισμού σύστασης σώματος. Κάποιες πρώιμες μελέτες έχουν δείξει ότι μια μείωση στον αριθμό της ανάλυσης των εικονοστοιχείων σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που χρησιμοποιούν οι αξονικοί τομογράφοι για την ανίχνευση όγκων μπορεί να μειώσει την ακτινοβολία σημαντικά. Στις μελέτες αυτές φαίνεται πως για μια σάρωση δέκα τομών του κορμού η ακτινοβολία μειώθηκε στο 1/25 αυτής μιας τυπικής ιατρικής εξέτασης για πέσει κάτω από 0,3 mSv⁷⁷. Πιθανολογείται ότι μπορεί να επέλθει και περαιτέρω μείωση στην δόση της ακτινοβολίας (και να φτάσει σε επίπεδα συγκρίσιμα με αυτά μιας εξέτασης DEXA ανοιχτής δέσμης) που λαμβάνει ο εξεταζόμενος αν η ανάλυση των εικονοστοιχείων μπορεί να μειωθεί παραπάνω. Τόσο ο αξονικός όσο και ο μαγνητικός τομογράφος βασίζονται σε έμμεσους τρόπους υπολογισμού της σωματικής σύστασης μιας και δεν έχει αναπτυχθεί λογισμικό αποκλειστικά για αυτούς τους υπολογισμούς όπως συμβαίνει με την DEXA για παράδειγμα⁷¹. Ο κύριος λόγος για αυτή την έλλειψη είναι ότι και ο αξονικός αλλά και ο μαγνητικός τομογράφος βρήκαν χρήση στον καθορισμό της σύστασης του σώματος κατά την πορεία τους στο χώρο της ιατρικής απεικόνισης και σαν πάρεργο του σκοπού για τον οποίο αναπτυχθήκαν. Δεν αποκλείεται όμως στο μέλλον να αναπτυχθεί το κατάλληλο λογισμικό μιας και η ακρίβεια αυτών των μεθόδων είναι πάρα πολύ υψηλή.

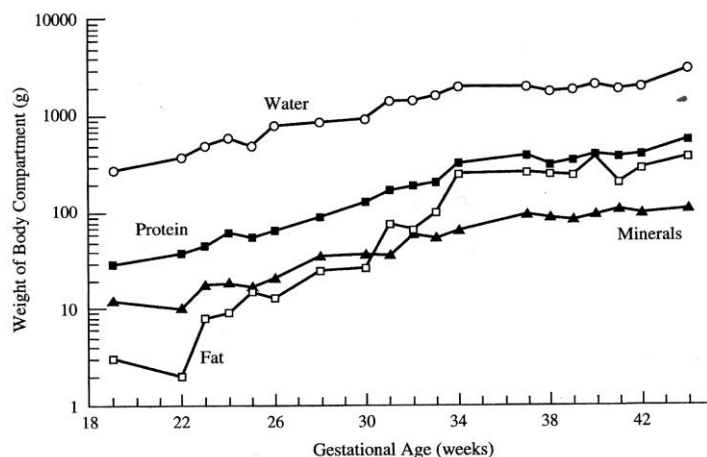
III. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το πέρας της παρουσίασης και ανάλυσης των μεθόδων και των αποτελεσμάτων τους όσον αφορά την ακρίβεια, την αξιοπιστία, την ευκολία χειρισμού -τόσο από την πλευρά του προσωπικού που κάνει τις μετρήσεις όσο και από την πλευρά του εξεταζόμενου ατόμου, του κόστους της εκάστοτε μεθόδου και της ευκολίας πρόσβασης, είναι ώρα να αναφερθούμε σε μερικά γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν, μέσα από τις διάφορες μελέτες, για τις πληθυσμιακές ομάδες του ενδιαφέροντός μας αλλά και για άλλες που μπορούν να βάλουν τα αποτελέσματα αυτά σε μια πιο σωστή βάση και προοπτική.

Όπως έχει αναφερθεί και πιο πριν υπάρχουν πολύ περιορισμένα δεδομένα για τη σύσταση του ανθρώπινου σώματος που προέρχονται από νεκροτομές, η οποία αποτελεί κατά γενική παραδοχή μακράν την ακριβέστερη και πιο αξιόπιστη μέθοδο ανάλυσης της σύστασης του σώματος. Βέβαια πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς που περιγράφουν τη σωματική σύσταση του ανθρωπίνου σώματος στις διάφορες φάσεις της ζωής. Αυτά τα μοντέλα είναι το βρέφος αναφοράς, το νήπιο αναφοράς, το παιδί αναφοράς, ο έφηβος αναφοράς, ο άνδρας και η γυναίκα αναφοράς. Επιπλέον οι μελέτες του Cheek και του Forbes⁷⁸ περιγράφουν τη σύσταση του ανθρώπινου σώματος σε επίπεδο στοιχείων, κυττάρων και ιστών.

Από τον καιρό των πρωτοποριακών αυτών μελετών νέες και πιο ευαίσθητες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί και μας έχουν επιτρέψει να επανεξετάσουμε πολλούς από τους συσχετισμούς σε μεγαλύτερο βάθος, και να καθορίσουμε το βαθμό της βιολογικής διαφορετικότητας που παρατηρείται στον υγιή γενικό πληθυσμό σε σχέση με το φύλλο, την ηλικία, την εθνικότητα και σεξουαλική ωριμότητα.

Για τα έμβρυα η σύσταση του σώματος άρχισε να ερευνάται μόλις πρόσφατα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου που χαρακτηρίζεται από πολύ γρήγορη ανάπτυξη, συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές στην κανονική σύσταση του σώματος κάτι που οδηγεί σε αντιφατικές παρατηρήσεις σε σύγκριση με τη σύσταση του σώματος που θα παρατηρούνταν κανονικά σε έναν ενήλικο⁷⁹. Τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία, οι πρωτεΐνες, το νερό και τα λιπώδη συστατικά του σώματος αυξάνουν με την ηλικία στα πρώιμα στάδια της ζωής το καθένα με το δικό του ρυθμό. Το παρακάτω γράφημα δείχνει αυτή την αύξηση και τη μη γραμμική τους σχέση που περιγράφεται στον πίνακα που ακολουθεί.



Εικόνα 21 Οι αλλαγές στη σύσταση του σώματος κατά την εμβρυακή ανάπτυξη και τα πρώτα στάδια της ζωής. Αυτά τα δεδομένα συχνά χρησιμοποιούνται σαν τις συγκρίσεις αναφοράς για τον υπολογισμό της ανάπτυξης σε πρόωρα νεογνά.

Total Body Content	Neutron Activation Analysis*		Chemical Cadaver Analysis†		Chemical Cadaver Analysis‡	
	a	b	a	b	a	b
Ca, g	0.00226	1.148	0.00117	1.241	0.00109	1.244
P, g	0.00412	0.996	0.00125	1.164	0.00197	1.109
Na, meq	0.162	0.902	0.362	0.806		
Cl, meq	0.183	0.847	0.284	0.784		
K, meq	0.0716	0.906	0.0449	0.989	0.00327§	1.194§

Πίνακας 11 Στοιχειακό περιεχόμενο = $a X Wt^b$ όπου Wt είναι το βάρος του σώματος σε γραμμάρια.

*Μητέρες με επαρκή διατροφή με ζωντανά νεογνά και επιβίωση 1-10 ημέρες.

□ Περίληψη δεδομένων για πτώματα βρεφών

□; Βρέφη κακοσιτισμένων μητέρων.

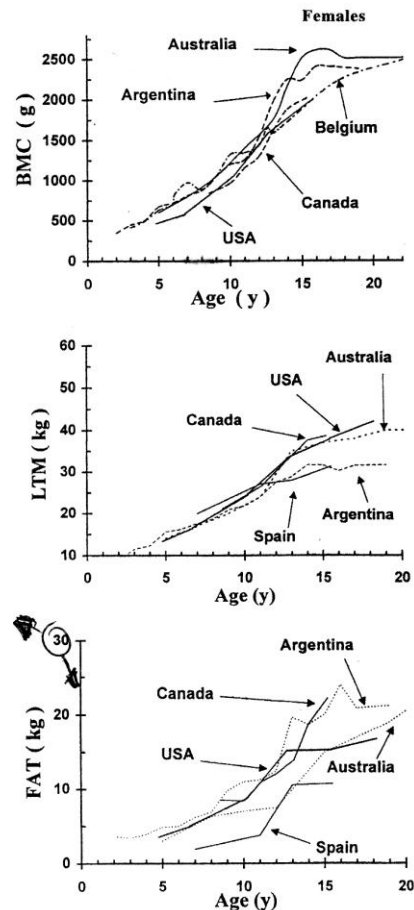
§ Τιμές υπολογισμού ολικού σωματικού αζώτου σε γραμμάρια

Μετρήσεις που ληφθήκαν με τη μέθοδο DEXA έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για να καθορίσουν τη σύσταση του σώματος τόσο σε νεογνά που γεννηθήκαν πρόωρα όσο και σε νεογνά που γεννηθήκαν στο τέλος της κύησης⁸⁰. Επίσης στα νεογνά παρατηρείται μια σημαντική ανακατανομή του όγκου του ενδοκυτταρικού και εξωκυτταρικού υγρού κατά τα πρώιμα στάδια της ζωής. Περιορισμένα δεδομένα υπάρχουν για βρέφη και νήπια (ηλικίες 1-4 χρονών). Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της ανεπαρκούς συνεργασίας από την πλευρά των παιδιών για τον χρόνο που απαιτείται για τη συμπλήρωση των διαδικασιών. Επίσης στις ρυθμίσεις των οργάνων που πολλές μέθοδοι χρησιμοποιούν δεν υπάρχει πρόβλεψη για τα σωματομετρικά δεδομένα των συγκεκριμένων ηλικιών⁸¹. Αποτελεί κοινή παραδοχή πάντως, ότι σε γενικές γραμμές οι σχετικές αναλογίες της οστικής, της καθαρής και της λιπώδους μάζας που αποτελούν το σωματικό βάρος παραμένουν αμετάβλητες για τα νήπια μετά την ηλικία των δύο ετών. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου της σταθερής ανάπτυξης υπάρχει αύξηση σε αυτά τα συστατικά, αλλά με τρόπο που δεν αλλάζει το προφίλ της σωματικής σύστασης.

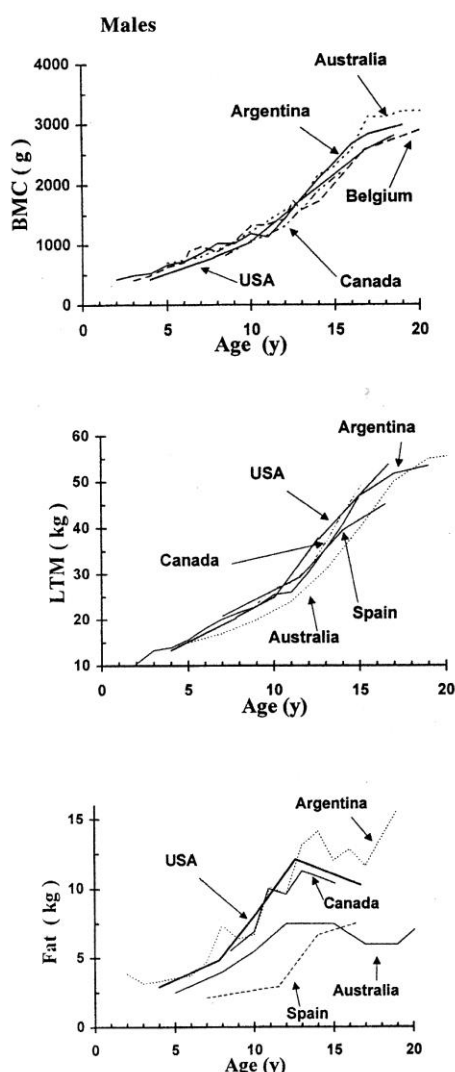
Σε αντίθεση με τα βρέφη και τα νήπια, υπάρχει πληθώρα μελετών για τη σύσταση του σώματος για παιδιά σχολικής ηλικίας και εφήβους. Οι τιμές της σύστασης του σώματος αυτών των μελετών ληφθήκαν ως επί το πλείστον με τις μεθόδους της DEXA και της ανάλυσης βιοηλεκτρικής εμπεδησης⁸². Κάποια δεδομένα έχουν ληφθεί με τη μέθοδο της υποβρύχιας μέτρησης βάρους σε συνδυασμό με το μοντέλο των τεσσάρων διαμερισμάτων. Εκτός από τα αποτελέσματα αυτών όλων των μελετών υπάρχουν και τα δεδομένα του παιδιού αναφοράς και του εφήβου αναφοράς. Από όλες αυτές τις μελέτες όμως πολύ λίγες είναι αυτές που καλύπτουν όλο το ηλικιακό φάσμα από τα 4 έως τα 18 χρόνια της ζωής των παιδιών και των εφήβων και ακόμη λιγότερες αυτές που λαμβάνουν υπ' όψιν τους στο δείγμα παράγοντες όπως το φύλο ή η εθνικότητα. Μια περίληψη των δεδομένων όσων μελετών καλύπτουν όλους αυτούς τους παράγοντες και που έχουν ληφθεί με την χρήση της DEXA ολόκληρου του σώματος παρατίθεται στον πίνακα που ακολουθεί. Τα γραφήματα που έπονται δείχνουν την σύγκριση των σχέσεων της ανάπτυξης για αγόρια και κορίτσια όπως προκύπτουν από το συνδυασμό διαφόρων παιδιατρικών μελετών από ολόκληρο τον κόσμο.

Age Group, yr	BMC, g	Lean Tissue Mass, kg	Fat Mass, kg	%Fat
Males				
White/European-American (n = 145)				
3-5	423 ± 94	13.25 ± 1.29	2.92 ± 0.44	17.6 ± 2.0
5-9	793 ± 232	20.42 ± 3.95	4.84 ± 3.83	17.1 ± 6.5
10-14	1,655 ± 496	37.74 ± 9.49	12.10 ± 8.41	22.2 ± 10.3
15-18	2,545 ± 430	53.58 ± 7.25	10.26 ± 6.29	14.8 ± 7.0
Black/African-American (n = 78)				
3-5	456 ± 106	14.70 ± 2.22	2.43 ± 0.71	13.7 ± 3.0
5-9	900 ± 195	22.54 ± 3.89	5.20 ± 4.53	16.7 ± 9.4
10-14	2,038 ± 633	45.73 ± 13.4	12.54 ± 10.57	19.2 ± 9.7
15-18	3,181 ± 440	65.51 ± 8.04	14.43 ± 10.30	16.7 ± 10.5
Hispanic/Mexican-American (n = 74)				
3-5	403 ± 63	12.10 ± 1.27	3.28 ± 1.22	20.4 ± 4.8
5-9	827 ± 192	21.42 ± 3.71	7.38 ± 3.38	23.9 ± 6.9
10-14	1,724 ± 475	39.48 ± 9.38	14.81 ± 6.99	26.0 ± 10.3
15-18	2,545 ± 334	53.57 ± 5.99	12.06 ± 7.96	16.6 ± 7.2
Females				
White/European-American (n = 143)				
3-5	447 ± 93	13.3 ± 1.4	3.5 ± 1.1	20.2 ± 4.7
6-8	528 ± 136	16.5 ± 2.4	5.0 ± 2.2	21.9 ± 5.5
9-11	1,057 ± 246	24.5 ± 4.0	8.8 ± 4.4	24.5 ± 7.8
12-14	1,581 ± 350	33.3 ± 4.9	15.2 ± 7.7	28.9 ± 7.7
15-17	1,967 ± 269	37.9 ± 4.2	15.3 ± 5.3	27.2 ± 5.8
Black/African-American (n = 106)				
3-5	430 ± 187	12.8 ± 3.3	3.8 ± 2.3	21.1 ± 5.9
6-8	844 ± 272	20.2 ± 3.5	7.2 ± 4.9	23.4 ± 8.4
9-11	1,330 ± 325	31.1 ± 5.9	13.3 ± 7.0	27.4 ± 9.0
12-14	1,876 ± 412	36.7 ± 5.7	17.6 ± 9.9	29.5 ± 8.8
15-17	2,148 ± 441	40.6 ± 8.9	21.9 ± 13.8	31.6 ± 9.3
Hispanic/Mexican-American (n = 42)				
3-5	413 ± 92	12.7 ± 2.8	4.6 ± 3.5	23.7 ± 10.2
6-8	626 ± 66	16.4 ± 1.9	6.3 ± 3.3	25.6 ± 7.7
9-11	1,119 ± 417	24.8 ± 5.7	12.1 ± 6.2	30.4 ± 7.3
12-14	1,584 ± 196	34.8 ± 4.1	17.7 ± 9.2	31.2 ± 10.0
15-17	2,108 ± 355	40.3 ± 6.9	26.7 ± 10.5	37.5 ± 6.0

Πίνακας 12 Οι τιμές που αναφέρονται είναι μέσες τιμές ± την τυπική απόκλιση. BMC είναι η περιεκτικότητα μεταλλικών ιχνοστοιχείων των οστών. $\%Fat = 100XFat/Wt_{DEXA}$ όπου DEXA η απορρόφηση ακτίνων X διπλής ενέργειας και Wt είναι το βάρος. Οι μετρήσεις ληφθήκαν με όργανο Hologic QDR-2000.



Εικόνα 22 Σύγκριση των αλλαγών στην περιεκτικότητα μεταλλικών ιχνοστοιχείων των οστών (BMC), καθαρής μάζας ιστών (LTM) και λιπώδους μάζας (Fat) για νέα κορίτσια σε διάφορες χώρες.



Εικόνα 23 Σύγκριση των αλλαγών στην περιεκτικότητα μεταλλικών ιχνοστοιχείων των οστών (BMC), καθαρής μάζας ιστών (LTM) και λιπώδους μάζας (Fat) για νέα αγόρια σε διάφορες χώρες

Για κάποιες από αυτές τις μελέτες που χρησιμοποίησαν ανθρωπομετρικές μεθόδους έχουν δημοσιευθεί οι εξισώσεις πρόβλεψης σύστασης σώματος και συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Οι εξισώσεις είναι αναλύσεις πολλαπλής παλινδρόμησης με πιθανές μεταβλητές πρόβλεψης την ηλικία (yr), το βάρος (wt) σε κιλά, και το ύψος (Ht) σε εκατοστά. Το R είναι ο συντελεστής συσχέτισης, το SEE το κανονικό σφάλμα εκτίμησης, το %CV ο συντελεστής διασποράς ως ποσοστό του εκατό, σε μέση ηλικία των 12 ετών. BCM είναι η περιεκτικότητα των οστών σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία, LTM είναι η καθαρή μάζα ιστών. Η σχέση μεταξύ περιεκτικότητας των οστών σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία και καθαρής μάζας οστών βρέθηκε να είναι ανεξάρτητη της εθνικότητας.

	R^2	SEE	%CV
White (European-American)			
Boys			
BMC = $23.6 \text{ Wt} + 75.5 \text{ age} - 416.5$	0.86	216 g	15.8
LTM = $0.439 \text{ Wt} + 1.52 \text{ age} - 2.76$	0.91	3.37 kg	9.1
Fat = $0.534 \text{ Wt} - 1.59 \text{ age} + 3.03$	0.57	3.56 kg	31.7
Girls			
BMC = $4.38 \times \text{Ht} + 18.6 \times \text{Wt} + 59.1 \times \text{age} - 753$	0.86	160 g	11.3
Lean = $0.101 \times \text{Ht} + 0.346 \times \text{Wt} + 0.559 \times \text{age} - 6.93$	0.93	1.73 kg	5.6
Fat = $0.642 \times \text{Wt} - 0.120 \times \text{Ht} - 0.606 \times \text{age} + 8.98$	0.86	1.09 kg	9.7
Black (African-American)			
Boys			
BMC = $21.3 \text{ Wt} + 106.3 \text{ age} - 525.3$	0.91	215 g	11.0
LTM = $0.363 \text{ Ht} + 0.388 \text{ Wt} - 34.2$	0.92	3.94 kg	8.9
Fat = $0.594 \text{ Wt} - 0.381 \text{ Ht} + 36.0$	0.62	4.29 kg	36.1
Girls			
BMC = $7.22 \times \text{Ht} + 17.2 \times \text{Wt} + 49.8 \times \text{age} - 919$	0.87	179 g	10.7
Lean = $0.143 \times \text{Ht} + 0.336 \times \text{Wt} + 0.301 \times \text{age} - 8.96$	0.91	2.37 kg	6.8
Fat = $0.653 \times \text{Wt} - 0.163 \times \text{Ht} - 0.298 \times \text{age} + 10.7$	0.91	2.45 kg	16.7
Hispanic (Mexican-American)			
Boys			
BMC = $16.9 \text{ Wt} + 102.3 \text{ age} - 437.2$	0.86	212 g	12.5
LTM = $0.424 \text{ Wt} + 1.56 \text{ age} - 2.98$	0.91	3.34 kg	8.7
Fat = $0.591 \text{ Wt} - 1.82 \text{ age} + 3.36$	0.55	3.71 kg	25.7
Girls			
BMC = $8.04 \times \text{Ht} + 14.4 \times \text{Wt} + 40.9 \times \text{age} - 928$	0.85	179 g	12.2
Lean = $0.212 \times \text{Ht} + 0.287 \times \text{Wt} + 0.011 \times \text{age} - 15.1$	0.92	2.22 kg	6.9
Fat = $0.677 \times \text{Wt} - 0.217 \times \text{Ht} + 15.5$	0.90	2.44 kg	15.1
BMC vs. LTM			
Boys BMC(g) = $51.25 \text{ LTM(kg)} - 258.8$	0.94	144 g	8.7
Girls BMC(g) = $60.25 \times \text{lean(kg)} - 379.5$	0.87	166 g	9.9

Πίνακας 13 Εξισώσεις πρόβλεψης για την εκτίμηση της μέσης σύστασης σώματος σε παιδιά βασισμένες στην ηλικία, το βάρος και το ύψος.

Όταν οι μετρήσεις της σωματικής σύστασης γίνονται μόνο μια φορά για κάποιο άτομο τότε η προφανής τους χρήση είναι για την εκτίμηση της κατάστασης αυτού του ατόμου σε σύγκριση με ένα δείγμα αναφοράς. Η σύσταση του σώματος του ατόμου αυτού μπορεί να εκφραστεί ως ένα ποσοστό της αναμενόμενης ή της προβλέψιμης τιμής συνήθως μετά τις διορθώσεις που γίνονται για τους παράγοντες της ηλικίας, της εθνικότητας του φύλου και τους δείκτες του βάρους και του ύψους⁸³.

Όταν οι μετρήσεις που λαμβάνονται είναι επαναλαμβανόμενες σε ένα βάθος χρόνου τότε μπορούμε να εκτιμήσουμε και τις αλλαγές στην σύσταση του σώματος του συγκεκριμένου ατόμου. Για αυτή την χρήση η ακρίβεια της μετρήσεως δεν είναι τόσο σημαντική όσο η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Η σχέση μεταξύ ελάχιστης ανιχνεύσιμης αλλαγής και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων όταν και τα δύο μεγέθη εκφράζονται σε ποσοστά δίνεται από τον τύπο:

$$\% \text{MDCE}2.83 \times \% \text{P}$$

σε ένα ποσοστό επιπέδου σημαντικότητας της τάξεως του 5%. Τα σφάλματα στην αξιοπιστία της μετρήσεως για τις μεθόδους που περιγράφηκαν παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

Μέρος της σύστασης του σώματος (μέθοδος)	Μέτρηση		Ελάχιστη Ανιχνεύσιμη αλλαγή
	Αξιοπιστία %	Ακρίβεια %	
TBK (ολικό σωματικό κάλιο)	1-3	5	150 meq (4%)
TBW (D ₂ O) (ολικό σωματικό νερό)	1-2	2	2 Lt (5%)
ECW (Br dil.) (Εξωκυτταρικός όγκος νερού)	2-3	2-4	2 Lt (10%)
TBN (Prompt-γ) (Ολικό σωματικό άζωτο)	2-4	3	130 g (7%)
TBCa (Delayed-γ) (Ολικό σωματικό Ασβέστιο)	1-2	5	55 g (5%)
FFM (UWW-ADP) (Καθαρή μάζα με YMB & ΠΜΑ)	1-2	2-3	4 Kg (6%)
FFM (BIA) (Καθαρή μάζα με BIA)	1-2		2-4 Kg (7%)
DEXA			
BMC (g) (Περιεκτικότητα οστών σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία)	1-2	2-10	160 g (4%)
LTM (kg) (Καθαρή μάζα ιστών)	2-3	5	4 kg (7%)
Fat (kg) (λιπώδης μάζα)	3-4	5-10	1 kg (10%)
VAT (MRI/CT) (Μαγνητικός / αξονικός τομογράφος)	5-10		

Πίνακας 14 Πίνακας σφαλμάτων αξιοπιστίας μεθόδων

Τα σφάλματα στην αξιοπιστία κυμαίνονται από 1 έως 5%. Τα σφάλματα ακρίβειας έχουν την τάση να παρουσιάζουν ψηλότερες τιμές αντανakλώντας τις δυσκολίες που συνεπάγονται οι ρυθμίσεις των οργάνων που πρέπει να γίνονται κάθε φορά για να ληφθούν υπ' όψιν οι διάφοροι βιολογικοί παράγοντες όπως οι σωματοδομές κλπ.

Είναι δύσκολο να καταλήξει κάποιος σε μια απόλυτη κρίση για το ποια μέθοδος είναι η καλύτερη. Αυτό που προκύπτει μετά το πέρας των περιγραφών και των συγκρίσεων είναι μια προσωπική τάση προς τη μέθοδο της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής

εμπέδησης για την εκτίμηση της σύστασης του σώματος σε παιδιά και εφήβους. Ο κύριος λόγος για αυτή την τάση μου είναι η υψηλή αξιοπιστία που παρουσιάζει η μέθοδος με αποτέλεσμα κρίνεται ικανή στην παρακολούθηση των αλλαγών σε αυτή τη σύσταση κάτι που αποτελεί άλλωστε και το στόχο του διαιτολόγου. Επίσης η ευκολία στη χρήση τόσο από το προσωπικό χειρισμού όσο και από το άτομο που υποβάλλεται στην εξέταση είναι ένας λόγος που κάνει αυτή τη μέθοδο πιο γοητευτική από άλλες.

Βέβαια δεν πρέπει να παραβλέπουμε το λόγο που αναλύεται η σύσταση του σώματος. Αν χρειαζόμαστε πληροφορίες για τα επιμέρους συστατικά του σώματος ή ο σκοπός απαιτεί υψηλή ακρίβεια αποτελεσμάτων τότε μια μέθοδος σαν την DEXA ή την ενεργοποίηση νετρονίων ή την μαγνητική ή την αξονική τομογραφία, να είναι η λύση που ενδείκνυται. Για χρήση ιδιαίτερα σε παιδιά πιο μικρής ηλικίας πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας και την δυσκολία στην εφαρμογή κάποιου πρωτοκόλλου μιας και το να εξασφαλίσεις την συνεργασία ενός τριχρονου ή τετράχρονου παιδιού σε θέματα ακινησίας είναι πάρα πολύ δύσκολη υπόθεση. Σε αυτές τις ηλικίες η χρήση πιθανά των ανθρωπομετρικών μεθόδων να είναι προτιμότερη.

Σαν τελικό συμπέρασμα αυτής της εργασίας προκύπτει η αδυναμία μιας και μόνης μεθόδου να εξυπηρετήσει όλο το φάσμα της πληθυσμιακής ομάδας που μας ενδιαφέρει. Η επιλογή λοιπόν της καταλληλότερης μεθόδου πρέπει να γίνεται με γνώμονα το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για το σκοπό που απαιτείται και για το άτομο που εξετάζεται.

IV. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι μέθοδοι εκτίμησης της σωματικής σύστασης του ανθρώπινου σώματος θα συνεχίσουν να εξελίσσονται και ήδη αρκετές καινούργιες αρχίζουν να κάνουν την εμφάνισή τους στο προσκήνιο. Η δύναμη που μας παρέχει η γνώση της σύστασης του σώματος και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις αυτής στην υγεία του ανθρώπου, είναι μεγάλη. Τα επόμενα χρόνια θα δοθεί μεγάλο βάρος στην περαιτέρω ανάπτυξη των εργαλείων για την απόκτηση όσο το δυνατόν περισσότερης και ακριβέστερης γνώσης για τα συστατικά του σώματος και τις αλληλεπιδράσεις τους. Είναι βέβαιο επίσης ότι αυτή η προσπάθεια θα επικεντρωθεί στα παιδιά, ειδικά οι μελέτες που αποσκοπούν στις μακροπρόθεσμες και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Έχει πιστοποιηθεί πλέον από την έρευνα ότι πολλές παθήσεις που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της ενήλικης ζωής του ανθρώπου έχουν τη ρίζα τους στην παιδική ηλικία. Ο τρόπος ζωής σήμερα ευνοεί την παχυσαρκία και σε πολλές χώρες τόσο του πρώτου όσο και του τρίτου κόσμου η παχυσαρκία ανάμεσα στα παιδιά έχει πάρει επιδημιολογικές διαστάσεις.

Πέρα όμως από τα παιδιά τα οφέλη θα είναι και για τους ενήλικες μιας και η αύξηση του προσδοκώμενου χρόνου ζωής είναι συνεχής και οι αλλαγές στη σύσταση του σώματος που συμβαίνουν με το γήρας αποτελούν αχαρτογράφητη περιοχή. Η μελέτη της σύστασης του σώματος και η εξέλιξη των μεθόδων για τον καθορισμό της υπόσχεται να μας δώσει το απαραίτητο υπόβαθρο για να μπορέσουμε να καλυτερεύσουμε τον τρόπο ζωής μας να κατανοήσουμε τις αιτίες που προκαλούν ασθένειες που περιορίζουν την απόλαυση της ζωής και να μας δώσει τα εφόδια που απαιτούνται για να καταπολεμήσουμε τη μάστιγα του εικοστού πρώτου αιώνα που λέγεται παχυσαρκία με το τεράστιο κοινωνικό κόστος που αυτή ενέχει. Αποτελεί καθήκον λοιπόν του διαιτολόγου να μπορέσει να κάνει κτήμα του την όσο πιο πλήρη και σφαιρική κατανόηση των εργαλείων που του παρέχονται για την σωστή αντιμετώπιση του προβλήματος της διατροφής μέσα από την σωστή εκτίμηση των δεδομένων που θα λάβει.

V. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Ανάλυση των μοντέλων διαμερισμάτων.

Το μοντέλο των δύο διαμερισμάτων χωρίζει το σώμα σε δύο μέρη. Το ένα περιλαμβάνει το σωματικό λίπος, και ότι ιστός απομένει περιλαμβάνεται στο δεύτερο μέρος και ονομάζεται καθαρή μάζα. Η απευθείας μέτρηση του σωματικού λίπους δεν ήταν ποτέ εύκολη και παραμένει μια μεγάλη πρόκληση για τις περισσότερες τεχνικές και μεθόδους υπολογισμού της σύστασης του σώματος. Αν όμως κάποιος μπορέσει να υπολογίσει την καθαρή μάζα, τότε το σωματικό λίπος μπορεί να εξαχθεί έμμεσα ως η διαφορά του σωματικού βάρους μείον την καθαρή μάζα. Το μοντέλο των δύο διαμερισμάτων χρησιμοποιείται εδώ και πενήντα χρόνια στην έρευνα της σύστασης του σώματος και ακόμη και σήμερα συνεχίζει να είναι χρήσιμο ειδικά στην εκτίμηση νέων μεθόδων που εστιάζουν στην σωματική σύσταση. Το πιο παλιό και πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο δύο διαμερισμάτων είναι αυτό που υιοθετούν οι μέθοδοι μέτρησης ολικής πυκνότητας σώματος. Η πιο κοινή από αυτές η υδροπυκνομετρία αναπτύχθηκε σε πανεπιστήμια των οποίων η κύρια κατεύθυνση ήταν η μελέτη της φυσικής κατάστασης και της αθλητικής απόδοσης. Ταυτόχρονα δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούσαν ραδιενεργή ανίχνευση (^{40}K και τρίτιο) και απαιτούσαν πολύ πιο εξειδικευμένη τεχνολογία από αυτή της υδροπυκνομετρίας, επίσης κάναν την εμφάνισή τους στο προσκήνιο και υιοθετούσαν το μοντέλο των δύο διαμερισμάτων. Και οι δύο αυτές νέες τεχνικές έπρεπε να μετρήσουν είτε το κάλιο είτε το ολικό νερό της καθαρής μάζας. Από την αρχή θεωρήθηκε ότι η σχετική συγκέντρωση αυτών των συστατικών έπρεπε να είναι σταθερή για όλες τις ηλικίες (0.732 l/Kg για το νερό και 68.1 meg/kg για το σωματικό κάλιο). Ομοίως η πυκνότητα της καθαρής μάζας θεωρήθηκε και αυτή σταθερή για το μοντέλο των δύο διαμερισμάτων. Όσο οι μελέτες πραγματοποιούνταν σε υγιείς νέους και λευκούς ενήλικες η θεωρήσεις αυτές ήταν χωρίς προβλήματα βάση των αποτελεσμάτων. Παρ' όλα αυτά όταν στις μελέτες συμπεριλαμβανόταν πολύ νέα άτομα ή πολύ ηλικιωμένα ή άτομα με κάποια ασθένεια ή και άτομα από διαφορετικές φυλές, τα αποτελέσματα έδειχναν ότι αυτές οι θεωρήσεις ήταν στην καλύτερη των περιπτώσεων απλές μέσες τιμές για πολύ συγκεκριμένους πληθυσμούς.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα η μόνη λύση ήταν η μετάβαση σε ένα μοντέλο τριών διαμερισμάτων. Σε αυτό το μοντέλο η καθαρή μάζα χωρίζεται σε δύο μέρη: το νερό και τα υπόλοιπα στερεά (κυρίως πρωτεΐνη και μεταλλικά ιχνοστοιχεία). Για το μοντέλο των τριών διαμερισμάτων (που χρησιμοποιεί τις μεθόδους της πυκνότητας σώματος για να καθορίσει το ολικό σωματικό νερό) χρησιμοποιούνται οι πυκνότητες του νερού, του λίπους, και των στερεών συστατικών της καθαρής μάζας. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με τη χρήση αυτού του μοντέλου παρουσιάζουν βελτίωση σε σχέση με αυτά του μοντέλου των δύο διαμερισμάτων για υγιείς ενήλικες και μεγαλύτερα παιδιά. Σε άτομα όμως που παρουσιάζουν σημαντικά μειωμένη μάζα πρωτεΐνης ή μάζας μεταλλικών ιχνοστοιχείων των οστών οι εκτιμώμενες τιμές για την πυκνότητα του διαμερίσματος των στερεών ουσιών θα είναι λανθασμένη. Έτσι και η εκτίμηση της σωματικής λιπώδους μάζας θα είναι και αυτή λανθασμένη.

Για να επεκταθεί το βασικό μοντέλο των δύο διαμερισμάτων σε αυτό των τεσσάρων κάποιος χρειάζεται μια ακριβή μέτρηση της πρωτεΐνης του σώματος και των μεταλλικών του ιχνοστοιχείων, πέρα από αυτή του ολικού σωματικού νερού. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο της υδροπυκνομετρίας σε συνδυασμό με το μοντέλο

των τεσσάρων διαμερισμάτων μπορούμε να υποθέσουμε ότι η πυκνότητα της πρωτεΐνης του σώματος είναι 1.34 kg/l και των μεταλλικών ιχνοστοιχείων 3.075 kg/l. Πέραν της υδροπυκνομετρίας άλλες δύο μέθοδοι απαιτούνται για την λήψη των μετρήσεων της πρωτεΐνης του σώματος και των μεταλλικών ιχνοστοιχείων. Για την μέτρηση της πρωτεΐνης απαιτείται η χρήση της μεθόδου ενεργοποίησης των νετρονίων και για την μέτρηση των μεταλλικών ιχνοστοιχείων απαιτείται η μέθοδος της DEXA. Βέβαια από τη στιγμή που απαιτείται η χρήση αυτών των δύο επιπλέον μεθόδων γιατί να πρέπει να χρησιμοποιηθεί και η υδροπυκνομετρία; Για το μοντέλο των τεσσάρων διαμερισμάτων με τη χρήση της μεθόδου της υδροπυκνομετρίας ο ερευνητής μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα της DEXA από προηγούμενες μελέτες για την περιεκτικότητα του σώματος σε μεταλλικά ιχνοστοιχεία τα οποία υπάρχουν σε αφθονία. Όσον αφορά τις πληροφορίες για τη μέτρηση της πρωτεΐνης του σώματος τα δεδομένα είναι περιορισμένα. Μόνο οκτώ κέντρα παγκοσμίως έχουν πρόσβαση στον εξοπλισμό που απαιτείται για μια τέτοια μέτρηση. Είναι κοινή πρακτική των ερευνητών για αυτό τον συνδυασμό μεθόδων και μοντέλου, ο υπολογισμός της μάζας πρωτεΐνης να γίνεται αναλογικά με τη μάζα μεταλλικών ιχνοστοιχείων ανεξάρτητα από την ηλικία ή το φύλο. Αν το ενδιαφέρον της μελέτης είναι η παρακολούθηση των βραχυπρόθεσμων αλλαγών στη λιπώδη μάζα, τότε ο υπολογισμός κατά προσέγγιση της μάζας των μεταλλικών ιχνοστοιχείων είναι αποδεκτός μιας και αυτό το συστατικό του μοντέλου τεσσάρων διαμερισμάτων δεν αλλάζει αξιοσημείωτα για ένα άτομο ακόμα και για μεγάλες χρονικές περιόδους. Οι αλλαγές στη μάζα της πρωτεΐνης όμως μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος αποτελέσματα αν η μάζα των μεταλλικών ιχνοστοιχείων δεν μετρηθεί με ακρίβεια.

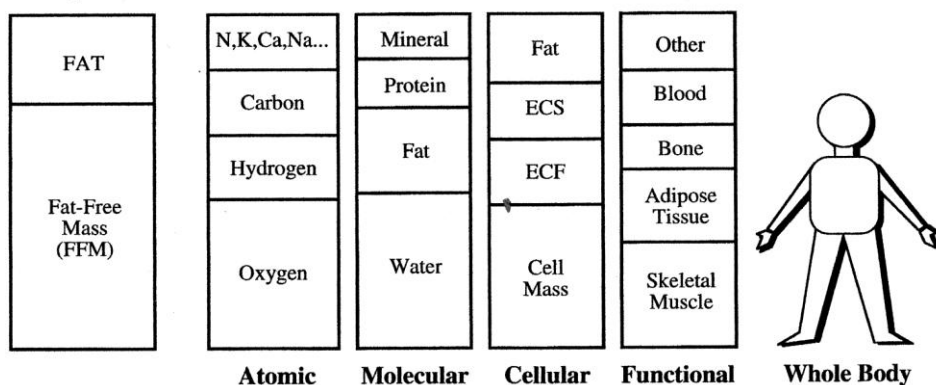
Ένα εναλλακτικό μοντέλο τεσσάρων διαμερισμάτων το οποίο δεν απαιτεί τη χρήση της υποβρύχιας μέτρησης βάρους έχει επίσης αναπτυχθεί. Αυτό το μοντέλο διαιρεί την καθαρή μάζα σε τρία μέρη. Την κυτταρική μάζα σώματος, το εξωκυτταρικό νερό και τα εξωκυτταρικά στερεά. Σύμφωνα με τις μελέτες του Moore⁸² η σωματική κυτταρική μάζα μπορεί να μετρηθεί με τη μέθοδο της μέτρησης ολικού σωματικού καλίου, το εξωκυτταρικό νερό με τη μέθοδο της χορήγησης ραδιενεργών ισοτόπων (κυρίως βρομιούχων διαλυμάτων) και τα εξωκυτταρικά στερεά με τη μέθοδο της ενεργοποίησης των νετρονίων για τον υπολογισμό του ολικού σωματικού ασβεστίου. Το άθροισμα των τριών αυτών συστατικών μας δίνει την μέτρηση της καθαρής μάζας και το ολικό σωματικό λίπος λαμβάνεται με την αφαίρεση της τιμής της καθαρής μάζας από το σωματικό βάρος. Ένας από τους περιορισμούς αυτού του μοντέλου είναι ότι τα λάθη των επιμέρους μετρήσεων συσσωρεύονται και μεταφέρονται άμεσα στην τιμή του ολικού σωματικού λίπους που λαμβάνουμε.

Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε επιπλέον μέτρηση μπορεί να ληφθεί δύναται να επεκτείνει τον αριθμό των διαμερισμάτων στο μοντέλο της σύστασης του σώματος. Κάθε επιπλέον μέτρηση όμως πρέπει να είναι διαμερισματικά ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες. Για παράδειγμα μια μέτρηση ολικών σωματικών χλωριδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για τη μέτρηση του εξωκυτταρικού νερού με τη μέθοδο της διάλυσης ραδιενεργών ισοτόπων. Αν όμως και οι δύο αυτές μετρήσεις πραγματοποιούνταν συγχρόνως δεν θα παίρναμε επιπλέον πληροφορίες για το εξωκυτταρικό νερό.

Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας τα τελευταία πενήντα χρόνια θα μας δείξει την εξελικτική διαδικασία από το βασικό μοντέλο των δύο διαμερισμάτων σ' αυτό των τεσσάρων που χρησιμοποιείται κατά κόρον σήμερα. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε την κατάταξη όλων αυτών των μοντέλων και τη θέση τους στο γενικό

μοντέλο των πέντε επιπέδων όπως αυτό ορίστηκε από τον Wang⁸⁵. Αυτό το μοντέλο των πέντε επιπέδων έχει γίνει το στάνταρ για τη μελέτη της σωματικής σύστασης.

Basic Model 2-Compartment



Multicompartment Models

Εικόνα 29 Τα μοντέλα των δύο διαμερισμάτων και των πέντε επιπέδων όπως αυτό ορίστηκε από τον Wang και τους συνεργάτες του.

Το μοντέλο των πέντε διαμερισμάτων αποτελείται από αυτό των στοιχείων, το μοριακό, το κυτταρικό, του συστήματος ιστών και του ολικού σώματος. Για κάθε επίπεδο εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη περιγραφή του μέσα στο συνολικό μοντέλο. Επίσης εξισώσεις μετάβασης από επίπεδο σε επίπεδο έχουν αναπτυχθεί, όπως και υβριδικά επίπεδα. Σε γενικές γραμμές οι σχέσεις μεταξύ χημικής σύστασης, σύστασης στοιχείων και μοριακής δομής ιστών παραμένουν σταθερές τόσο σε υγιείς καταστάσεις όσο και σε καταστάσεις ασθένειας. Σαν αποτέλεσμα η αναδόμηση της σύστασης του σώματος που βασίζεται στο επίπεδο των στοιχείων είναι συχνά πιο αξιόπιστη και ελαχιστοποιεί τις υποθέσεις που πρέπει να γίνουν για την πυκνότητα των οστών, της ενυδάτωσης, ή της δομής.

Elemental level

$$\text{Body Wt} = \text{TBO} + \text{TBC} + \text{TBH} + \text{TCa} + \text{TBK} + \text{TBN} + \text{TBCl} + \text{TBNa} + \text{TBMg} + \dots$$

Molecular level

$$\text{Body Wt} = \text{lipid mass (fat)} + \text{total body water} + \text{total body protein (TBPr)} + \text{bone mineral (OM)} + \text{soft tissue mineral (STM)}$$

Cellular level

$$\text{Body Wt} = \text{body cell mass (BCM)} + \text{extracellular water (ECW)} + \text{extracellular solids} + \text{fat}$$

Tissue system level

$$\text{Body Wt} = \text{adipose tissue (fat + cells)} + \text{skeletal muscle (SM)} + \text{bone (mineral + fluid + marrow)} + \text{other tissues}$$

Translational equations between cellular, molecular, and elemental levels

$$\begin{aligned} \text{TBCa} &= 0.340 \text{ BMC} \\ \text{TBN} &= 0.161 \text{ TBPr} \\ \text{TBC} &= 0.759 \text{ TBLipid} + 0.532 \text{ TBPr} + 0.018 \text{ BMC} \\ \text{TBK} &= 120 \text{ BCM} \\ \text{TBCl} &= 111 \text{ ECW} \\ \text{TBLipid} &= 1.318 \text{ TBC} - 4.353 \text{ TBN} - 0.070 \text{ TBCa} \\ \text{TBPr} &= 6.21 \text{ TBN} \\ \text{OM} &= 2.941 \text{ TBCa} \\ \text{STM} &= 2.75 \text{ TRK} + \text{TRNa} + 1.43 \text{ TBCl} - 0.038 \text{ TBCa} \end{aligned}$$

Πίνακας 15 Μια επιλογή εξισώσεων που περιγράφει το πολυδιαμερισματικό μοντέλο των πέντε επιπέδων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗΣ ΣΥΝΤΗΜΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΟΡΩΝ

2-C : μοντέλο δύο διαμερισμάτων
UWW : υποβρύχια μέτρηση βάρους ή υδροπυκνόμετρία
ECS : εξωκυτταρικά στερεά
ECW : εξωκυτταρικό νερό
Ht : ύψος
Wt : βάρος
BMI : δείκτης μάζας σώματος
FFM : καθαρή μάζα (ελεύθερη λίπους μάζα)
BIA : ανάλυση βιοηλεκτρικής εμπέδησης
R : αντίσταση
Xc : ένταση
Impedance : Εμπέδηση
CT : αξονική τομογραφία
MRI : μαγνητική τομογραφία
DEXA : απορρόφηση ακτίνων X διπλής ενέργειας
WHR : λόγος περιφέρειας μέσης γοφών
Reactance : διαπίδηση
Phase angle (ϕ) : γωνία φάσης
Resistance : αντίσταση
V : όγκος
 Φ : διατομή αγωγού
 ρ : σταθερά συσχέτισης
l : μήκος αγωγού
TBW : ολικό σωματικό νερό
BCM : σωματική κυτταρική μάζα
BFST, LBM : καθαρή μάζα χωρίς οστά
D : ποσότητα δόσης της ουσίας ανίχνευσης
dt : χρόνος ισοστάθμισης
[d_o] : συγκέντρωση ουδέτερου σημείου
RJL : μετρητές βιοηλεκτρικής εμπέδησης της εταιρίας RJL
Db : πυκνότητα σώματος
% BF_{AP} : ποσοστό ολικού σωματικού λίπους όπως προκύπτει από τη μέθοδο πληθυσμογραφίας μετατόπισης αέρα
%BF_{HW} : ποσοστό ολικού σωματικού λίπους όπως προκύπτει από τη μέθοδο υποβρύχιας μέτρησης βάρους
B : μάζα οστών
ST : μαλακοί ιστοί
F : λιπώδης μάζα
T₁ : χρόνος χαλάρωσης
VAT : σπλαχνικός λιπώδης ιστός
SAT : υποδόριος λιπώδης ιστός
BMC : περιεκτικότητα μεταλλικών ιχνοστοιχείων
LTM : καθαρή μάζα ιστών (χωρίς οστά)
% MDC : ποσοστό ελάχιστης ανιχνεύσιμης αλλαγής
Cell Mass : κυτταρική μάζα
SM : σκελετικός μυς
STM : μάζα μαλακού ιστού
TBPr : ολική πρωτεΐνη σώματος

Παραπομπές

1. Kenneth J. Ellis. «Innovative Non or Minimally Invasive Technologies for Monitoring Health and Nutritional Status in Mothers and Young Children». *Journal of Nutrition* 131, 2001. Σελ. 1590S
2. Brodie, D., Moscrie, V. & Hutcheon R. «Body Composition Measurement: a review of hydrodensitometry, anthropometry and impedance methods». *Nutrition* 14. 1998. Σελ. 296.
3. Kenneth J. Ellis, «Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies». *J. Nutr.* 131:2001; Σελ: 1589S-1595S
4. Dezenberg, C. V., Nagy, T. R., Gower, B. A., Johnson, R. & Goran, M. I. «Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children.» *Int. J. Relat. Metab. Disord.* 23. 1999. Σελ. 253-259
5. Buskirk, E. R., «Underwater weighing and body density: a review of procedures» *Techniques for measuring body composition.* (Brozek, J. & Henschel A. eds). National Academy of Sciences, National Research Council, Washington DC. 1961. Σελ. 90-105
6. Dempster, P. & Aitken, S. «A new air displacement method for the determination of human body composition» *Med. Sci. Sport Exerc.* 27. 1995. Σελ. 1692-1697.
7. Wells, J. C. K., Douros, I., Fuller, N. J., Elia, M., & Decker, L. «Assessment of body volume using three dimensional photonic scanning». *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 904. 2000. Σελ. 247-254.
8. Kenneth J. Ellis, «Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies». *J. Nutr.* 131:2001; Σελ: 1589S-1595S
9. Matthie, J., Zarowitz, B., DeLorenzo, A., Andreoli, A., Katzarski, K., Pan, G. & Withers, P. «Analytic assessment of the various bioimpedance methods used to estimate body water». *J. Appl. Physiol.* 84. 1998 Σελ. 1801-1816.
10. Piccoli, A., Rossi, B., Pillon, L. & Bucciante, G. «A new method for monitoring body fuel variation by bioimpedance analysis: the R-Xc graph». *Kidney Int.* 46. 1994. Σελ. 534-539.
11. Riu, P., Rossel, J., Bragos, R. & Casas, O. «Electrical bioimpedance methods: applications to medicine and biotechnology». *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 873 1999. Σελ. 1-853
12. Locker, D. W., Heyward, V. H., Baumgartner, R. N., & Jenkins, K. A. «Comparison of air-displacement plethysmography, hydrodensitometry, and dual x-ray absorptiometry for assessing body composition in children 10 to 18 years of age». *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 904. 2000. Σελ. 72-78.
13. Kenneth J. Ellis. «Innovative Non or Minimally Invasive Technologies for Monitoring Health and Nutritional Status in Mothers and Young Children». *Journal of Nutrition* 131, 2001. Σελ. 1593S
14. Kenneth J. Ellis. «Innovative Non or Minimally Invasive Technologies for Monitoring Health and Nutritional Status in Mothers and Young Children». *Journal of Nutrition* 131, 2001. Σελ. 1594S
15. Gallagher, D., Visser, M., Sepulveda, D., Pierson, R. N., Harris, T., & Heymsfield, S. B. «How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex and ethnic groups?» *Amer. J. Epidemiol.* 143. 1996. Σελ. 229.
16. Gallagher, D., Visser, M., Sepulveda, D., Pierson, R. N., Harris, T., & Heymsfield, S. B. «How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex and ethnic groups?» *Amer. J. Epidemiol.* 143. 1996. Σελ. 234.
17. Strauss, R. C. «Comparison of measured and self reported weight and height in a cross sectional sample of young adolescents». *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 23. 1999. Σελ. 904-908

18. Lohman, T., J. «Advanced in body composition assessment». Champaign, IL: Human Kinetics; 1992
19. Dietz, W. H., Bellizzi, M. C. «Assessment of childhood and adolescent obesity» Am. J. Clin. Nutr. Suppl 70. 1999. Σελ 117-175.
20. Rolland-Cachera, M. F., Sempe, M., Guillaud-Bataille, M., Patois, E., Peguigot-Guggenbuhl, F., Fautrad, V., «Adipose indices in children» Am. J. Clin. Nutr. 39. 1982.
21. Goran, M. I. «Measurement issue related to studies of childhood obesity: assessment of body composition, body fat distribution, physical activity and food intake». Pediatrics 101. 1998. Σελ. 505-518.
22. Lohman, T., J. «Advanced in body composition assessment». Champaign, IL: Human Kinetics; 1992 Lohman, T., J. «Advanced in body composition assessment». Champaign, IL: Human Kinetics; 1992
23. Cole, T., J., Rolland-Cachera, M. F. «Measurement and definition in: Child and adolescent obesity». Burniat, W., Cole, T. J., Lissau, I., Poskitt, E, editors. London Cambridge University press; 2002. Σελ. 3-27
24. Jackson, A., S. & Pollock, M. L. «A practical approach for assessing body composition of men, women, and athletes». Medicine and Science in Sports and Exercise. 12. 1980. Σελ 195-206
25. Maffei, C., Pietrobelli, A., Grezzani, A., Provera, S., Tato, L., «Waist circumference and cardiovascular risk factors in prepubertal children». Obes. Res. 9. 2001. Σελ 179-187
26. Terry, R. B., et al., «Regional adiposity patterns in relation to lipids, lipoprotein cholesterol, and lipoprotein subtraction mass in men». Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 68, 1989. Σελ 191-199
27. Bray George, «Obesity, Fat Intake, and Chronic Disease». Neuropsychopharmacology: the fifth generation of progress.2000
28. Geddes, L.A. and Baker, L.E.: «Principles of applied biomedical instrumentation». 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1975, Σελ. 616-618
29. Thomasett, A. «Bioelectrical properties of tissue impedance». Lyon Med. 207. 1962. Σελ. 107-118.
30. Nyboer, J., «Electrorheometric properties of tissues». Ann. N.Y. Acad. Of Sciences. 170 (2). 1970. Σελ. 410-420.
31. Nyboer, J., «Electrorheometric properties of tissues». Ann. N.Y. Acad. Of Sciences. 170 (2). 1970. Σελ. 410-420.
32. Liedtke, J. R., «Principles of Bioelectrical Impedance Analysis». RJL Systems Inc., 1997, Σελ. 4
33. Nyboer, J., Polasek, P., & Goliard, R. «Bioelectric Impedance Analyser». Proc. Second Int. Conf. Of Bioelec. Impedance. 1976. Σελ.5
34. . Geddes, L.A. and Baker, L.E.: «Principles of applied biomedical instrumentation». 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1975, Σελ. 616-618
35. Settle, R. G., Foster, K. R., Epstein, B. R., & Mullen, J. L. «Nutritional assessment: whole body impedance and fluid compartments. Nutrition and cancer». 2 (1). 1980. Σελ. 72-80
36. Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C.. «Correlation of whole Body Impedance with total body water volume». J. Appl. Physiol. 27. 1969. Σελ. 531
37. Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C.. «A relation between whole body impedance and total body water volume». Annals N.Y. Acad. Of Sciences. 197. 1970. Σελ. 452-469

38. Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., Lykken, G. I. «Assessment of fat free mass using Bioelectrical impedance measurements of the human body». *Am. J. Clin. Nutr.* 41. 1985. Σελ. 810-817.
39. Segal, K. R., Gutin, B., Presa, E., Wang, J., Van Itallie, T. «Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study». *Journal of Applied Physiology*. 58, 1985. Σελ. 1565-1571.
40. Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., Lykken, G. I. «Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body». *Am. J. Clin. Nutr.* 41. 1985. Σελ. 810-817.
41. Kushner, R. F., & Schoeller, D. A., «Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis». *Am. J. Clin. Nutr.* 44. 1986. Σελ. 417-424.
42. Lukaski, H. C., & Bolonchuk, W. W., «Theory and validation of the tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition». *Int. Symp. On In Vivo Body Composition Studies*. Sept 28-Oct 1, 1986, Brookhaven National Laboratory.
43. Geddes, L. A., & Baker, L. E., «Principles of applied biomedical instrumentation». Second edition. John Wiley and sons, New York. 1975. Σελ 276-300
44. Nyboer, J., Kornmesser, J. G., «Electrical impedance of the abdomen during maternal labor». *Annals of the New York Academy of Science*. Vol. 170. Art. 2. June 1970. Σελ. 801-803.
45. Gamble J L, Robertson J S, & Hannigan C A, «Chloride, Bromide, Sodium and sucrose spaces in man» *J. Clin. Invest.* 32, 1953 Σελ: 483-487.
46. Kotler, D. P., D. M. Thea, M. Heo, D. B. Allison, E. S. Engelson, J. Wang, R. N. J. Pierson, M. St. Louis, and G. T. Keush. «Relative influences of sex, race, environment, and HIV infection on body composition in adults». *Am. J. Clin. Nutr.* 69, 1999. Σελ: 432-439.
47. Ellis, J. K., «Human Body Composition: In Vivo Methods». *Physiol. Rev.* Vol. 80, No 2. April 2000, Σελ: 650-671
48. Thieme, M., E. L. Hunt, K. Konig, A. Schmitt-Hanning, and R. Godde. «European whole body counter measurement intercomparison». *Health Physics* 74, 1998, Σελ: 465-471.
49. Ellis, K. J., and R. J. Shypailo. «40K measurements in the infant». *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 161, 1992, Σελ: 51-60.
50. Moore, F. D., K. H. Olesen, J. D. McMurray, H. V. Parker, M. R. Ball, and C. M. Boyden. «*The Body Cell Mass and Its Supporting Environment*». Philadelphia, PA: Saunders, 1963.
51. Forbes, G. B., and A. Lewis. «Total sodium, potassium, and chloride in adult man». *J. Clin. Invest.* 35, 1956 Σελ: 596-600.
52. Ellis, K. J., and R. J. Shypailo. «Whole-body potassium measurements independent of body size». In: «*Human Body Composition: In Vivo Methods, Models, and Assessment*», edited by K. J. Ellis and J. Eastman. New York: Plenum, 1993, Σελ: 371-375.
53. CLARKE, R. H., AND T. R. E. SOUTHWOOD. «Risks from ionizing radiation». *Nature* 338, 1989, Σελ: 197-198.
54. Biagi, R., Voltman, W. M., Nies, A. M., Brenner, E. C., Flakoll, P. K., Levenhagen, K. D., Sun, M., Karabulut, Z., Chen Kong, Y. «Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults». *Am. J. Clin. Nutr.* 69. 1999, Σελ. 898-903.

55. Fields, A. D., Goran, I. M., McCrory, A. M., «Body composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review». *Am. J. Clin. Nutr.* 75. 2002. Σελ. 453-467
56. Biagi, R., Voltman, W. M., Nies, A. M., Brenner, E. C., Flakoll, P. K., Levenhagen, K. D., Sun, M., Karabulut, Z., Chen Kong, Y. «Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults». *Am. J. Clin. Nutr.* 69. 1999, Σελ. 898-903.
57. Daniels, F., Albert, R. A., «Physical Chemistry». New York, John Wiley and sons, Inc. 1967
58. Lohman, T., J. «Advanced in body composition assessment». Champaign, IL: Human Kinetics; 1992
59. Fields, A. D., Goran, I. M., McCrory, A. M., «Body composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review». *Am. J. Clin. Nutr.* 75. 2002. Σελ. 453-467
60. Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A., «Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions». *Ann. N Y Acad. Sci.* 110. 1963. Σελ. 113-140
61. Fields, A. D., Goran, I. M., McCrory, A. M., «Body composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review». *Am. J. Clin. Nutr.* 75. 2002. Σελ. 453-467
62. Ellis, J. K., «Human body composition: In Vivo Methods». *Physiological reviews.* Vol.80 No.2 April 2000, Σελ. 662-664
63. Nord, R. H., «DEXA body composition properties: inherent in the physics or specific to scanner type?». *Appl. Radiat. Isotopes.* 49. 1998. Σελ. 517-518.
64. Pietrobelli, A., C. Formica, Z. Wang, and S. B. Heymsfield. «Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts». *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 271, 1996, Σελ. E941—E951.
65. Tothill, P., and D. W. Pye. «Error due to non-uniform distribution of fat in dual x-ray absorptiometry of the lumbar spine». *Br. J. Radiol.* 95, 1992, Σελ. 807–813.
66. Heymsfield SB, Wang Z, Wang J, et al. «Theoretical foundation of dual energy x-ray absorptiometry (DEXA) soft tissue estimates: validation in situ and in vivo». *FASEB J* 1994, Σελ. 8A:278.
67. Jebb SA, Goldberg GR, Marinou E. «DEXA measurements of fat and bone mineral density in relation to depth and adiposity». In: Ellis KJ, Eastman JD, eds. *Human body composition*. New York: Plenum, 1993, Σελ. :115–19.
68. J Norcross, M D Van Loan, «Validation of fan beam dual energy x ray absorptiometry for body composition assessment in adults aged 18–45 years». *Br J Sports Med* 38, 2004. Σελ. 472–476.
69. Tothill, P., A. Avenell, AND D. M. REID. «Precision and accuracy of measurements of whole-body bone mineral: comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy X-ray absorptiometers». *Br. J. Radiol.* 67, 1994. Σελ. 1210–1217.
70. Roche, A. F., Heymsfield, S. B., Lohman, T. G., (editors), «Human Body Composition», Champaign IL., Human Kinetics, 1996.
71. Tothill, P., Pye, D. W., «Error due to non uniform distribution of fat in dual X ray absorptiometry of the lumbar spine». *Br. J. Radio.* 95., 1992, Σελ. 807-813.

72. Heymsfield S. B., Wang, Z, Wang, J. «Theoretical foundation of dual energy x-ray absorptiometry DEXA soft tissue estimates: validation in situ and in vivo». *FASEB J.* 8A. 1994. Σελ. 278.
73. Jebb SA, Goldberg GR, Marinou E. “DEXA measurements of fat and bone mineral density in relation to depth and adiposity”. In: Ellis KJ, Eastmen JD, eds. *Human body composition*. New York: Plenum, 1993. Σελ.115–19.
74. Roche, A. F., Heymsfield, S. B., Lohman, T. G., (editors), «Human Body Composition», Champaign IL., Human Kinetics, 1996.
75. Heymsfield S. B., Wang, Z, Wang, J. «Theoretical foundation of dual energy x-ray absorptiometry DEXA soft tissue estimates: validation in situ and in vivo». *FASEB J.* 8A. 1994. Σελ. 278.
76. Tothill PA, Avenell J, Reid L, et al. “Comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy x-ray absorptiometers and other techniques used for whole-body soft tissue measurements”. *Human Body Composition. In Vivo Models, Methods, and Assessment*. Plenum Press, New York and London 1993. Σελ.385–388.
77. Despres, J.-P., R. Ross, and S. Lemieux. «Imaging techniques applied to the measurement of human body composition». In: «*Human Body Composition*», edited by A. F. Roche, S. B. Heymsfield, and T. G. Lohman. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996, Σελ: 149–166.
78. Cheek, D. B. «*Human Growth*». Philadelphia, PA: Lea & Febiger, 1968.
79. Fomon, S. J. «Body composition of the male reference infant during the first year of life». *Pediatrics* 40, 1967, Σελ: 863–870.
80. Brunton, J. A., H. A. Weiler, and S. A. Atkinson. «Improvement in the accuracy of dual energy X-ray absorptiometry for whole body and regional analysis of body composition: validation using piglets and methodologic considerations in infants». *Pediatr. Res.* 41, 1997 590–596.
81. Koo, W. W., J. Walters, and A. J. Bush. «Technical considerations of dual-energy X-ray absorptiometry-based bone mineral measurements for pediatric studies». *J. Bone Miner. Res.* 10, 1995, Σελ: 1998–2004
82. Faulkner, R. A., D. A. Bailey, D. T. Drinkwater, A. A. Wilkinson, C. S. Houston, AND H. A. McKay. «Regional and total body bone mineral content, bone mineral density, and total body tissue composition in children 8–16 years of age». *Calcif. Tissue Int.* 53, 1993, Σελ: 7–12.
83. Ellis, K. J., S. A. Abrams, and W. W. Wong. «Body composition reference data for a young multiethnic female population». *Appl. Radiat. Isotopes* 49, 1998, Σελ: 587–588.
84. Moore, F. D., K. H. Olesen, J. D. McMurray, H. V. Parker, M. R. Ball, and C. M. Boyden. «*The Body Cell Mass and Its Supporting Environment*». Philadelphia, PA: Saunders, 1963.
85. Wang, Z. M., R. N. Pierson, JR., and S. B. Heymsfield. «The five level model: a new approach to organizing body composition research». *Am. J. Clin. Nutr.* 56, 1992, Σελ: 19–28.

Βιβλιογραφία

- Keneth J. Ellis. «Innovative Non or Minimally Invasive Technologies for Monitoring Health and Nutritional Status in Mothers and Young Children». *Journal of Nutrition* 131, 2001.
- Brodie, D., Moscrib, V. & Hutcheon R. «Body Composition Measurement: a review of hydrodensitometry, anthropometry and impedance methods». *Nutrition* 14. 1998.
- Dezenberg, C. V., Nagy, T. R., Gower, B. A., Johnson, R. & Goran, M. I. «Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 23. 1999.
- Buskirk, E. R., «Underwater weighing and body density: a review of procedures» *Techniques for measuring body composition.* (Brozek, J. & Henschel A. eds). National Academy of Sciences, National Research Council, Washington DC. 1961.
- Dempster, P. & Aitken, S. «A new air displacement method for the determination of human body composition» *Med. Sci. Sport Exerc.* 27. 1995.
- Wells, J. C. K., Douros, I., Fuller, N. J., Elia, M., & Decker, L. «Assessment of body volume using three dimensional photonic scanning». *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 904. 2000.
- Kenneth J. Ellis, «Selected Body Composition Methods Can Be Used in Field Studies». *J. Nutr.* 131:2001.
- Matthie, J., Zarowitz, B., DeLorenzo, A., Andreoli, A., Katzarski, K., Pan, G. & Withers, P. «Analytic assessment of the various bioimpedance methods used to estimate body water». *J. Appl. Physiol.* 84. 1998.
- Piccoli, A., Rossi, B., Pillon, L. & Bucciante, G. «A new method for monitoring body fuel variation by bioimpedance analysis: the R-Xc graph». *Kidney Int.* 46. 1994.
- Riu, P., Rossel, J., Bragos, R. & Casas, O. «Electrical bioimpedance methods: applications to medicine and biotechnology». *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 873 1999.
- Locker, D. W., Heyward, V. H., Baumgartner, R. N., & Jenkins, K. A. «Comparison of air-displacement plethysmography, hydrodensitometry, and dual x-ray absorptiometry for assessing body composition in children 10 to 18 years of age». *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 904. 2000.
- Gallagher, D., Visser, M., Sepulveda, D., Pierson, R. N., Harris, T., & Heymsfield, S. B. «How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex and ethnic groups?» *Amer. J. Epidemiol.* 143. 1996.
- Strauss, R. C. «Comparison of measured and self reported weight and height in a cross sectional sample of young adolescents». *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 23. 1999.
- Dietz, W. H., Bellizzi, M. C. «Assessment of childhood and adolescent obesity» *Am. J. Clin. Nutr. Suppl* 70. 1999. Σελ 117-175.
- Rolland-Cachera, M. F., Sempere, M., Guillaud-Bataille, M., Patois, E., Peguigot-Guggenbuhl, F., Fautrad, V., «Adipose indices in children» *Am. J. Clin. Nutr.* 39. 1982.
- Goran, M. I. «Measurement issue related to studies of childhood obesity: assessment of body composition, body fat distribution, physical activity and food intake». *Pediatrics* 101. 1998.
- Cole, T. J., Rolland-Cachera, M. F. «Measurement and definition in: Child and adolescent obesity». Burniat, W., Cole, T. J., Lissau, I., Poskitt, E., editors. London Cambridge University press; 2002.

- Jackson, A., S. & Pollock, M. L. «A practical approach for assessing body composition of men, women, and athletes». *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 12. 1980.
- Maffeis, C., Pietrobelli, A., Grezzani, A., Provera, S., Tato, L., «Waist circumference and cardiovascular risk factors in prepubertal children». *Obes. Res.* 9. 2001.
- Terry, R. B., et al., «Regional adiposity patterns in relation to lipids, lipoprotein cholesterol, and lipoprotein subtraction mass in men». *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 68, 1989.
- Bray George, «Obesity, Fat Intake, and Chronic Disease». *Neuropsychopharmacology: the fifth generation of progress*. 2000
- Geddes, L.A. and Baker, L.E.: «Principles of applied biomedical instrumentation». 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, 1975.
- Thomasett, A. «Bioelectrical properties of tissue impedance». *Lyon Med.* 207. 1962.
- Nyboer, J., «Electrorheometric properties of tissues». *Ann. N.Y. Acad. Of Sciences*. 170 (2). 1970.
- Liedtke, J. R., «Principles of Bioelectrical Impedance Analysis». *RJL Systems Inc.*, 1997,.
- Nyboer, J., Polasek, P., & Goliard, R. «Bioelecric Impedance Analyser». *Proc. Second Int. Conf. Of Bioelec. Impedance*. 1976.
- Settle, R. G., Foster, K. R., Epstein, B. R., & Mullen, J. L. «Nutritional assessment: whole body impedance and fluid compartments. *Nutrition and cancer*». 2 (1). 1980.
- Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C.. «Correlation of whole Body Impedance with total body water volume». *J. Appl. Physiol.* 27. 1969.
- Hoffer, E. C., Meador, C. K., & Simpson, D. C.. «A relation between whole body impedance and total body water volume». *Annals N.Y. Acad. Of Sciences*. 197. 1970.
- Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., Lykken, G. I. «Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body». *Am. J. Clin. Nutr.* 41. 1985.
- Kushner, R. F., & Schoeler, D. A., «Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis». *Am. J. Clin. Nutr.* 44. 1986.
- Lukaski, H. C., & Bolonchuk, W. W., «Theory and validation of the tetrapolar bioelectrical impedance method to access human body composition». *Int. Symp. On In Vivo Body Composition Studies*. Sept 28-Oct 1, 1986, Brookheaven National Laboratory.
- Nyboer, J., Kornmesser, J. G., «Electrical impedance of the abdomen during maternal labor». *Annals of the New York Academy of Science*. Vol. 170. Art. 2. June 1970.
- Lukaski, H., Johnson, P. E., «A simple inexpensive method for determining total body water using a tracer dose of D₂O and infrared absorption of biological fluids». *Am. J. Clin. Nutr.* 127, 1985.
- Mendez, J., Procop, P Picon-Reatequi, E., Aders, R., Buskirk, E. R., «Total body water by D₂O dilution using saliva samples and gas chromatography». *J. Appl. Physiol.* 28. 1970.
- Analiza Silva, Wei Shen, ZiMian Wang, John F. Aloia, Miriam E. Nelson, Steven B. Heymsfield, Luis B. Sardinha, and Stanley Heshka. «Three-compartment model: critical evaluation based on neutron activation analysis». *AmJ. Physiol. Endocrinol. Metab.* 287. 2004.

- Siri, S. E. «Body composition from fluid density and spaces: analysis of methods». In: Brozek, J., Henschel, A. Eds. «Techniques for measuring body composition». Washington DC: National Academy of Sciences, National research council. 1961.
- Biagi, R., Voltman, W. M., Nies, A. M., Brenner, E. C., Flakoll, P. K., Levenhagen, K. D., Sun, M., Karabulut, Z., Chen Kong, Y. «Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults». *Am. J. Clin. Nutr.* 69. 1999.
- Daniels, F., Albert, R. A., «Physical Chemistry». New York, John Wiley and sons, Inc. 1967.
- Fields, A. D., Goran, I. M., McCrory, A. M., «Body composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review». *Am. J. Clin. Nutr.* 75. 2002.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A., «Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions». *Ann. N Y Acad. Sci.* 110. 1963.
- Bartoli, W. P., J. M. Davis, R. R. Pate, D. S. Ward, and P. D. Watson. «Weekly variability in total body water using $2H_2O$ dilution in college-age males». *Med. Sci. Sports Exercise* 25: 1993.
- Kotler, D. P., D. M. Thea, M. Heo, D. B. Allison, E. S. Engelson, J. Wang, R. N. J. Pierson, M. St. Louis, and G. T. Keush. «Relative influences of sex, race, environment, and HIV infection on body composition in adults». *Am. J. Clin. Nutr.* 69, 1999.
- Thieme, M., E. L. Hunt, K. Konig, A. Schmitt-Hanning, and R. Godde. «European whole body counter measurement intercomparison». *Health Physics* 74, 1998.
- Ellis, K. J., and R. J. Shypailo. « ^{40}K measurements in the infant». *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 161, 1992.
- Forbes, G. B., and A. Lewis. «Total sodium, potassium, and chloride in adult man». *J. Clin. Invest.* 35, 1956.
- Ellis, K. J., and R. J. Shypailo. «Whole-body potassium measurements independent of body size». In: «*Human Body Composition: In Vivo Methods, Models, and Assessment*», edited by K. J. Ellis and J. Eastman. New York: Plenum, 1993.
- CLARKE, R. H., AND T. R. E. SOUTHWOOD. «Risks from ionizing radiation». *Nature* 338, 1989.
- Biagi, R., Voltman, W. M., Nies, A. M., Brenner, E. C., Flakoll, P. K., Levenhagen, K. D., Sun, M., Karabulut, Z., Chen Kong, Y. «Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults». *Am. J. Clin. Nutr.* 69. 1999.
- Daniels, F., Albert, R. A., «Physical Chemistry». New York, John Wiley and sons, Inc. 1967
- Lohman, T., J. «Advances in body composition assessment». Champaign, IL: Human Kinetics; 1992.
- Fields, A. D., Goran, I. M., McCrory, A. M., «Body composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review». *Am. J. Clin. Nutr.* 75. 2002.

- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A., «Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions». *Ann. N Y Acad. Sci.* 110. 1963.
- Fields, A. D., Goran, I. M., McCrory, A. M., «Body composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review». *Am. J. Clin. Nutr.* 75. 2002.
- Ellis, J. K., «Human body composition: In Vivo Methods». *Physiological reviews.* Vol.80 No.2 April 2000.
- Nord, R. H., «DEXA body composition properties: inherent in the physics or specific to scanner type?». *Appl. Radiat. Isotopes.* 49. 1998.
- Pietrobelli, A., C. Formica, Z. Wang, and S. B. Heymsfield. «Dual-energy x-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts». *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 271, 1996.
- Tothill, P., and D. W. Pye. «Error due to non-uniform distribution of fat in dual x-ray absorptiometry of the lumbar spine». *Br. J. Radiol.* 95, 1992.
- Heymsfield SB, Wang Z, Wang J, et al. «Theoretical foundation of dual energy x-ray absorptiometry (DEXA) soft tissue estimates: validation in situ and in vivo». *FASEB J* 1994.
- Jebb SA, Goldberg GR, Marinos E. «DEXA measurements of fat and bone mineral density in relation to depth and adiposity». In: Ellis KJ, Eastmen JD, eds. *Human body composition.* New York: Plenum, 1993.
- J Norcross, M D Van Loan, «Validation of fan beam dual energy x ray absorptiometry for body composition assessment in adults aged 18–45 years». *Br J Sports Med* 38, 2004.
- Tothill, P., A. Avenell, and D. M. Reid. «Precision and accuracy of measurements of whole-body bone mineral: comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy X-ray absorptiometers». *Br. J. Radiol.* 67, 1994.
- Roche, A. F., Heymsfield, S. B., Lohman, T. G., (editors), «Human Body Composition», Champaign IL., Human Kinetics, 1996.
- Despres, J.-P., R. Ross, and S. Lemieux. «Imaging techniques applied to the measurement of human body composition». In: «*Human Body Composition*», edited by A. F. Roche, S. B. Heymsfield, and T. G. Lohman. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996.
- Cheek, D. B. «*Human Growth*». Philadelphia, PA: Lea & Febiger, 1968.
- Fomon, S. J. «Body composition of the male reference infant during the first year of life». *Pediatrics* 40, 1967.
- Brunton, J. A., H. A. Weiler, and S. A. Atkinson. «Improvement in the accuracy of dual energy X-ray absorptiometry for whole body and regional analysis of body composition: validation using piglets and methodologic considerations in infants». *Pediatr. Res.* 41, 1997.
- Koo, W. W., J. Walters, and A. J. Bush. «Technical considerations of dual-energy X-ray absorptiometry-based bone mineral measurements for pediatric studies». *J. Bone Miner. Res.* 10, 1995.
- Faulkner, R. A., D. A. Bailey, D. T. Drinkwater, A. A. Wilkinson, C. S. Houston, AND H. A. McKay. «Regional and total body bone mineral content, bone mineral density, and total body tissue composition in children 8–16 years of age». *Calcif. Tissue Int.*

53, 1993.

- Ellis, K. J., S. A. Abrams, and W. W. Wong. «Body composition reference data for a young multiethnic female population». *Appl. Radiat. Isotopes* 49, 1998.

- Moore, F. D., K. H. Olesen, J. D. McMurray, H. V. Parker, M. R. Ball, and C. M. Boyden. «*The Body Cell Mass and Its Supporting Environment*». Philadelphia, PA: Saunders, 1963.

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

- Tothill PA, Avenell J, Reid L, et al. “Comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy x-ray absorptiometers and other techniques used for whole-body soft tissue measurements”. Human Body Composition. In Vivo Models, Methods, and Assessment. Plenum Press, New York and London 1993.