

για το νερό (4). Το πλεονέκτημά της δεν είναι μόνο πως μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά και ο απαιτούμενος χρόνος για τη μέτρηση. Η ζύγιση σε νερό κάποιου εκπαιδευμένου χρειάζεται μισή ώρα, ενώ αντίστοιχα η μέτρηση του όγκου σώματος σε μια δεξαμενή αέρα γίνεται σε 5-10 λεπτά.

Το λίπος σώματος μπορεί να υπολογιστεί από το βάρος και τον όγκο σώματος με δύο εξισώσεις: βάρος σώματος = FFM + FM, όγκος = FFV + FV, όπου FFV όγκος ελεύθερου λίπους και FV=όγκος λίπους. Υποθέτοντας πως η πυκνότητα για το FFV είναι 1,1 και για το FM 0,9, τότε όγκος σώματος = FFM/1,1 + FM/0,9. Λύνοντας τις δύο εξισώσεις με δύο αγνώστους, παίρνουμε την εξίσωση Siri (5):

$$\%FM = (4,95 / D_b - 4,50) 100$$

όπου:

D_b – πυκνότητα σώματος = βάρος σώματος προς όγκο σώματος

1.2.1.3. Ολικό νερό σώματος

Το συνολικό νερό σώματος (TBW) είναι ένα μέτρο της σύνθεσης του σώματος που προϋποθέτει μια σταθερή ενυδάτωση της άλιπης μάζας (FFM), συνήθως 73%. Η μέτρηση της μάζας σώματος (BM) και του συνολικού νερού του σώματος (TBW) επιτρέπει τον υπολογισμό της άλιπης μάζας (FFM) ως $TBW/0,73$ και τον υπολογισμό της μάζας λίπους (FM) ως μάζα σώματος μείον την άλιπη μάζα. Το συνολικό νερό του σώματος μετράται με την αραίωση των ισοτόπων του νερού, δηλαδή των ισοτόπων του υδρογόνου και του οξυγόνου: 3H , 2H και ^{18}O . Η υποκείμενη παραδοχή είναι πως αυτά έχουν την ίδια κατανομή όγκου όπως το νερό. Ο εξεταζόμενος λαμβάνει καθορισμένη δόση σημασμένου νερού από το στόμα ή ενδοφλεβίως, ακολουθούμενη από μια περίοδο εξισορρόπησης, διάρκειας τουλάχιστον δύο ωρών και αμέσως στη συνέχεια γίνεται δειγματοληψία του σωματικού υγρού. Η δόση, η περίοδος εξισορρόπησης και το υλικό δειγματοληψίας εξαρτώνται από το ισότοπο, την οδό χορήγησης και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των δειγμάτων. Το τρίτιο ή 3H είναι ένα ραδιοϊσότοπο το οποίο μετράται με την καταμέτρηση υγρού σπινθηρισμού (liquid scintillation counting). Το δευτέριο ή 2H και το ^{18}O είναι και τα δύο σταθερά ισότοπα, αν και το 2H μπορεί να μετρηθεί σε υψηλότερες συγκεντρώσεις μέσω της απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ και τα δύο ισότοπα μπορούν να μετρηθούν σε χαμηλές συγκεντρώσεις με το φασματόμετρο μάζας λόγου ισοτόπων (IRMS). Τα σωματικά υγρά που χρησιμοποιούνται ως δείγματα είναι το σάλιο, το αίμα και τα ούρα. Η διάρκεια της περιόδου εξισορρόπησης είναι τουλάχιστον δύο ώρες για ενδοφλέβια χορήγηση, με τη χρήση αίματος ως υλικού δειγματοληψίας. Αντίστοιχα, για χορήγηση από το στόμα, που αποτελεί και τη λιγότερο επεμβατική οδό, με τη χρήση ούρων ως υλικού δειγματοληψίας, απαιτείται μία ελάχιστη περίοδος εξισορρόπησης 4-6 ωρών. Ο υπολογισμός του TBW βασίζεται στην εξίσωση

$$C_d \times V_d = (C_1 - C_0) \times TBW$$

όπου:

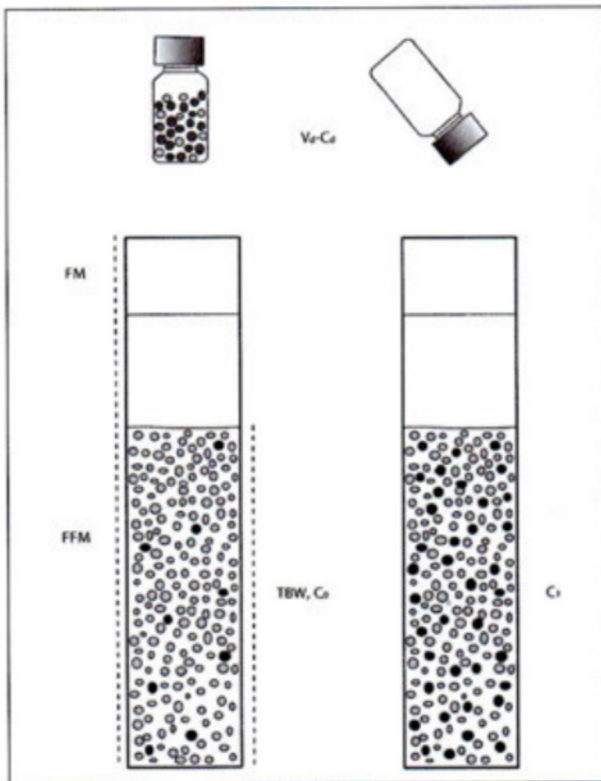
C_d – συγκέντρωση του ανιχνευτή-ισοτόπου

V_d – όγκος της δόσης

C_0 – βασικοκυτταρικές συγκεντρώσεις του ανιχνευτή-ισοτόπου

C_1 – συγκεντρώσεις του ανιχνευτή-ισοτόπου μετά την κατανάλωση της δόσης (εικόνα 1.2.2.2.).

Στην πράξη, χρησιμοποιώντας μια μη επεμβατική μέθοδο με σταθερά ισότοπα σε χαμηλές συγκεντρώσεις, οι εξεταζόμενοι λαμβάνουν μια δόση ραδιοσημασμένου νερού στη μετα-απορροφητική κατάσταση, αφού πρώτα ληφθεί αρχικό δείγμα, π.χ. σάλιο ή ούρα. Συνήθως για το αρχικό δείγμα τα επίπεδα του ^2H και του ^{18}O είναι γύρω στα 150 και 2.000 ppm, αντίστοιχα. Η ελάχιστη υπέρβαση εμπλουτισμού στην οποία θα πρέπει κανείς να φτάσει είναι γύρω στα 100 ppm. Μετά από εξισορρόπηση διάρκειας 4-6 ωρών συλλέγεται ένα τελικό δείγμα σάλιου ή ούρων. Όσον αφορά τα ούρα, το δείγμα θα πρέπει να προέρχεται από μια δεύτερη τουλάχιστον ούρηση μετά τη λήψη του ραδιοσημασμένου νερού. Το ^{18}O προτιμάται ως ανιχνευτής σε σχέση με το ^3H και το ^2H , καθώς η τιμή αραίωσης του ^{18}O προσεγγίζει αυτήν του ολικού νερού σώματος. Η αραίωση για τα ισότοπα υδρογόνου είναι κατά μέσο όρο 4% μεγαλύτερη, ενώ η αραίωση για το ^{18}O είναι κατά μέσο όρο 1% μεγαλύτερη από ό,τι το ολικό νερό σώματος, εξαι-



Εικόνα 1.2.1.2. Σχηματική παρουσίαση της μέτρησης της λιπώδους μάζας (FM) και της άλιπης μάζας (FFM) με αραίωση ισοτόπων για τη μέτρηση του ολικού νερού σώματος (TBW). Ο υπολογισμός του TBW βασίζεται στη σχέση $C_d \times V_d = (C_1 - C_0) \times TBW$, όπου C_d και V_d η συγκέντρωση του ανιχνευτή και ο όγκος της δόσης αντίστοιχα, ενώ C_0 και C_1 οι συγκεντρώσεις του ανιχνευτή στο νερό του σώματος πριν και μετά τη χορήγηση της δόσης.

τίας της ανταλλαγής του ισοτόπου με μη υδατικές ουσίες στο σώμα. Από την άλλη πλευρά, το κόστος του ^{18}O είναι 100 φορές μεγαλύτερο από αυτό των άλλων ισοτόπων.

1.2.1.4. Ανθρωπομετρία

Η μέτρηση των δερματοπτυχών αποτελεί την πιο γρήγορη και φθηνή μέθοδο υπολογισμού της σύστασης του σώματος. Αυτή βασίζεται στις παρακάτω υποθέσεις:

- Το πάχος της υποδόριας λιπώδους μάζας αντικατοπτρίζει ένα σταθερό ποσοστό της συνολικής λιπώδους μάζας.
- Το μέσο πάχος των δερματοπτυχών σε επιλεγμένες περιοχές αντικατοπτρίζει την υποδόρια λιπώδη μάζα.

Η μέτρηση των δερματοπτυχών γίνεται συνήθως σε τέσσερις περιοχές: στον τρικέφαλο μυ, στο δικέφαλο μυ, στην υποπλάτια περιοχή και στο λαγόνιο. Τα σημεία μετρώνται τουλάχιστον τρεις φορές και υπολογίζεται ο μέσος όρος από το άθροισμα των ξεχωριστών μετρήσεων. Οι εξισώσεις πρόβλεψης του σωματικού λίπους από το άθροισμα των δερματοπτυχών χρησιμοποιούν έναν λογαριθμικό μετασχηματισμό του πάχους των δερματοπτυχών, καθώς το σωματικό λίπος δεν συνδέεται γραμμικά με το πάχος των δερματοπτυχών, και επιπλέον την ηλικία και το φύλο του εξεταζομένου.

Η μέτρηση γίνεται με δερματοπτυχόμετρο, πιάνοντας το δέρμα μεταξύ αντίχειρα και δείκτη, ανακινώντας το απαλά ώστε να αποχωριστεί από τον υποκείμενο μυϊκό ιστό και τραβώντας το μακριά ώστε να εφαρμοστεί στα σκέλη του δερματοπτυχόμετρου (εικόνα 1.2.1.3.). Το δερματοπτυχόμετρο είναι ρυθμισμένο, ώστε να ασκεί συνεχή πίεση. Η μέτρηση απαιτεί δεξιότητα στο να τραβήξει κανείς το δέρμα με το σωστό τρόπο προς τη σωστή πλευρά. Άλλες πηγές που ευθύνονται για διακυμάνσεις είναι οι διαφορές μεταξύ των ατόμων στη συμπίεστικότητα του υποδόριου ιστού. Ορισμένοι άνθρωποι έχουν σκληρό υποδόριο ιστό, ενώ σε άλλους είναι πολύ πλαδαρός και παραμορφώνεται εύκολα. Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται σε εξαιρετικά παχύσαρκα άτομα, στα οποία το υποδόριο στρώμα λίπους είναι τόσο μεγάλο, ώστε να εμποδίζει το σωστό πιάσιμο της δερματικής πτυχής.

Τα σφάλματα που προκύπτουν από την εκτίμηση της FM και της FFM από τη μάζα του σώματος και το πάχος των δερματοπτυχών είναι μεγαλύτερα σε σύγκριση με τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν και κυμαίνονται μεταξύ 3% και 9%, εξαρτώμενα σε μεγάλο βαθμό από την εμπειρία αυτού που διενεργεί τη μέτρηση. Από την άλλη μεριά, η συγκεκριμένη μέθοδος ορισμένες φορές αποτελεί μια από τις λίγες ευκαιρίες για συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη σύνθεση του σώματος.



Εικόνα 1.2.1.3. Η μέτρηση της δερματοπτυχής στο σημείο του τρικέφαλου με το δερματοπτυχόμετρο

1.2.1.5. Άλλες μέθοδοι μέτρησης της σύνθεσης του σώματος

Η ευρύτερα διαδεδομένη νέα τεχνική για τη μέτρηση της σύστασης του σώματος σε φυσιολογικά άτομα προκύπτει από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του σώματος. Η αγωγιμότητα θεωρείται ότι αποτελεί αντανάκλαση της FFM, καθώς η FFM περιέχει ουσιαστικά όλο το νερό, όπως και τους ηλεκτρολύτες του σώματος. Οι δύο τεχνικές για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με σκοπό τον καθορισμό της σύστασης του σώματος είναι η ολική ηλεκτρική αγωγιμότητα σώματος (TOBEC) και η αντίσταση του σώματος (BI). Αυτές οι τεχνικές είναι λιγότερο χρήσιμες σε ασθενείς, εξαιτίας των διαταραχών που εμφανίζουν στην κατανομή των υγρών και ηλεκτρολυτών.

Ολική ηλεκτρική αγωγιμότητα σώματος (TOBEC)

Το όργανο μέτρησης της ολικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του σώματος αποτελείται από ένα σωληνοειδές πηνίο, το οποίο δημιουργεί ένα ταλαντευόμενο πεδίο, επάγοντας ηλεκτρικό ρεύμα σε οποιοδήποτε υλικό που τοποθετείται εντός του πηνίου. Η διαφορά ανάμεσα στην αντίσταση του πηνίου όταν είναι άδειο και όταν εισέρχεται σε αυτό ένα αντικείμενο, αποτελεί μέτρο της σύστασης του σώματος.

Αντίσταση σώματος (BI)

Το όργανο της βιοηλεκτρικής αντίστασης επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο σώμα και μετρά την αντίστασή του με τη βοήθεια ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στα άκρα. Η συγκεκριμένη μέθοδος περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Και στις δύο περιπτώσεις, της ολικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του σώματος και της βιοηλεκτρικής αντίστασης, απαιτούνται διορθώσεις όσον αφορά το μήκος του αγωγού και τη διαμόρφωσή του. Για το σκοπό αυτό τα όργανα που σχετίζονται με την ολική ηλεκτρική αγωγιμότητα του σώματος συνήθως βαθμονομούνται με τη βοήθεια ενός προτύπου γνωστής σύστασης. Αντιστοίχως, τα αποτελέσματα της βιοηλεκτρικής αντίστασης ελέγχονται σύμφωνα με ταυτόχρονες μετρήσεις του συνολικού νερού σώματος, που χρησιμοποιούν την ισοτοπική αραίωση. Τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων θεωρούνται ορθά με χρήση των κατάλληλων εξισώσεων για τον υπολογισμό της σύστασης του σώματος από τη βιοηλεκτρική αντίσταση για τον υπό μελέτη πληθυσμό. Τα περισσότερα εργαστήρια κάνουν χρήση δικών τους εξισώσεων, εξαιτίας των διαφορών ως προς τον εξοπλισμό και τη μεθοδολογία.

Επιπροσθέτως υπάρχουν καινούργιες μέθοδοι καθορισμού της ποσότητας των συστατικών του σώματος. Δυστυχώς καμία από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στη μέτρηση της σύστασης του σώματος δεν είχε ως αποτέλεσμα μια πιο άμεση in vivo μέθοδο, αφού κάθε μέθοδος έχει τις δικές της προϋποθέσεις και συχνά απαιτεί δαπανηρή τεχνολογία. Παραδείγματα αποτελούν οι μετρήσεις του ολικού αζώτου και του ολικού ασβεστίου στο σώμα διαμέσου ανάλυσης με ενεργοποίηση νετρονίων, η μαγνητική τομογραφία και η απορροφησιμετρία ακτίνων X διπλής ενέργειας της μάζας των μεταλλι-