

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 αραιώση 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:

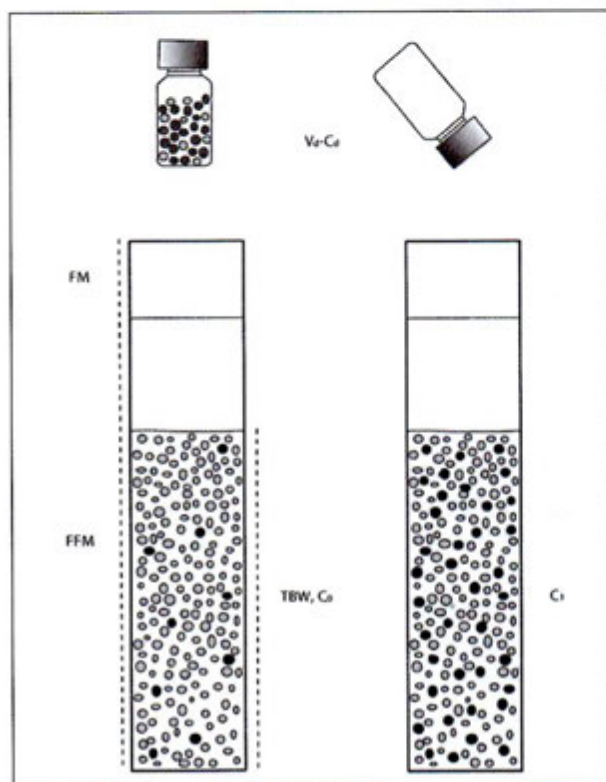
C_d – συγκέντρωση του ανιχνευτή-ισοτόπου

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 ισωτόπων 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

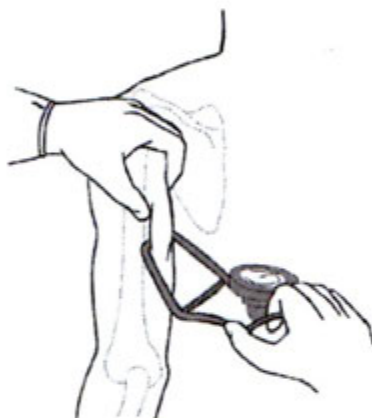
Η μέτρηση των δερματοπτυχών αποτελεί την πιο γρήγορη και φθηνή μέθοδο υπολογισμού της σύστασης του σώματος. Αυτή βασίζεται στις παρακάτω υποθέσεις:

- 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 συμπίεσιμότητα 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)

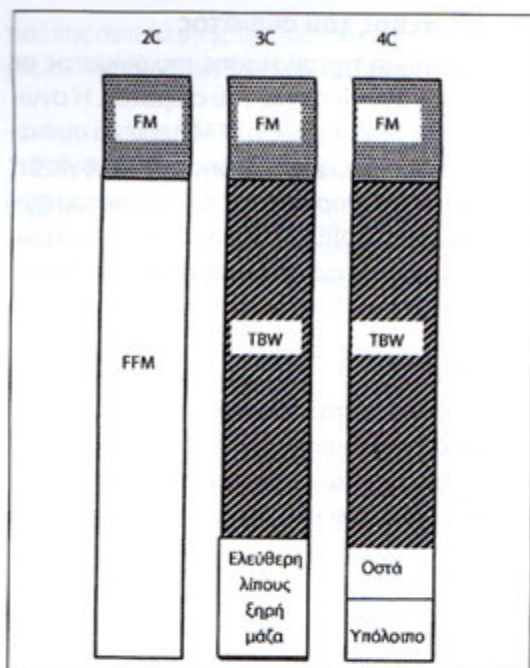
Το όργανο μέτρησης της ολικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του σώματος αποτελείται από ένα σωληνοειδές πηνίο, το οποίο δημιουργεί ένα ταλαντευόμενο πεδίο, επάγοντας ηλεκτρικό ρεύμα σε οποιοδήποτε υλικό που τοποθετείται εντός του πηνίου. Η διαφορά ανάμεσα στην αντίσταση του πηνίου όταν είναι άδειο και όταν 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 αραιώση. 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 Χ διπλής ενέργειας της μάζας των μεταλλι-



Εικόνα 1.2.1.4. Μοντέλα σύστασης ανθρωπίνου σώματος: 2C, διμερές μοντέλο, όπου λιπώδης μάζα (FM) και άλιπη μάζα (FFM) προέρχονται είτε από τη μέτρηση του βάρους σώματος και του όγκου σώματος είτε από τη μέτρηση του βάρους σώματος και του ολικού νερού σώματος. 3C, τριμερές μοντέλο, όπου λιπώδης μάζα (FM) και άλιπη μάζα (FFM) προέρχονται από τη μέτρηση του βάρους σώματος, του όγκου σώματος και του ολικού νερού σώματος. 4C, τετραμερές μοντέλο, όπου λιπώδης μάζα (FM) και άλιπη μάζα (FFM) προέρχονται από τη μέτρηση του βάρους σώματος, του όγκου σώματος, του ολικού νερού σώματος και της οστικής μάζας.

και για την άλιπη μάζα. Ο συνδυασμός ανεξάρτητων μετρήσεων παρέχει τη δυνατότητα μείωσης αυτού του σφάλματος μέτρησης, με την υιοθέτηση ενός μοντέλου από τρεις ή τέσσερις παραμέτρους (εικόνα 1.2.2.4.). Σε ένα τριμερές μοντέλο, το οποίο βασίζεται στη μέτρηση της μάζας σώματος, όγκου σώματος και ολικού νερού σώματος, η ακρίβεια υπολογίζεται σε 1,0 kg για τη λιπώδη μάζα και 0,7 kg για την ελεύθερη λίπους μάζα. Επιπλέον, ελαφρά βελτίωση μπορεί να επιτευχθεί με ένα τετραμερές μοντέλο, υποδιαιρώντας την ελεύθερη λίπους μάζα σε ολικό νερό σώματος, πρωτεϊνική μάζα και οστική ή μάζα μεταλλικών στοιχείων. Αυτό το τετραμερές μοντέλο αποτελεί τώρα το «χρυσό κανόνα» για τη μέτρηση της σύστασης του σώματος, στηριζόμενο στη μέτρηση τεσσάρων παραμέτρων: μάζα σώματος, όγκο σώματος και ολικό νερό σώματος με τις «παραδοσιακές» μεθόδους, καθώς και τη μάζα των μεταλλικών στοιχείων με τη διπλή απορρόφηση της ενέργειας (DEXA).

Η ακρίβεια παρ' όλα αυτά δεν θα φθάσει ποτέ στο επίπεδο του 0,001 kg, όπως για τη μάζα σώματος (BM) με ηλεκτρονικούς ζυγούς -integrating electronic balances. Από την άλλη μεριά, η ακρίβεια μίας κοινής ζυγαριάς οικιακής χρήσης για τη μέτρηση της μάζας σώματος (BM) συνήθως δεν υπερβαίνει το 1 kg. Η τοποθέτηση της ζυγαριάς σε άλλη θέση του δωματίου συχνά έχει ως αποτέλεσμα μια διαφορά της τάξης 0,5-1,0 kg. Ο καθένας άλλωστε γνωρίζει πως υπάρχει ασυμφωνία όσον αφορά τη μέτρηση του βάρους σώματος ανάμεσα σε διαφορετικές ζυγαριές. Για το λόγο αυτό το απαραίτητο σημείο εκκίνησης για τη μέτρηση της σύστασης σώματος και των αλλαγών αυτής είναι μια ακριβής μέτρηση της μάζας σώματος με τη χρήση σωστά βαθμονομημένων ζυγαριών. Για συγκριτικές μελέτες οι εξεταζόμενοι θα πρέπει να μετρώνται φορώντας ελάχιστα ρούχα, με το ελάχιστο εντερικό περιεχόμενο (μετά-απορροφητικά) και με κενή ουροδόχο κύστη.

Η ηλικία, ο υποσιτισμός, καθώς και διάφορες ασθένειες παραβιάζουν τις γενικές προ-

υποθέσεις των διμερών μοντέλων, όπως αυτές υιοθετούνται με την πυκνομετρία και τη μέτρηση του ολικού νερού σώματος. Παραδείγματα αποτελούν η ελάττωση της πυκνότητας της άλιπης μάζας σε σχέση με την οστική απώλεια λόγω ηλικίας, όπως και νόσοι που προκαλούν αφυδάτωση ή οίδημα. Με την ανθρωπομετρία, το κοιλιακό λίπος σε ανδρικού τύπου παχυσαρκία ή σε σύνδρομο Prader Willi δεν μετράται με τη δερματοπτυχομετρία, έχοντας ως αποτέλεσμα σημαντικό σφάλμα. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να χρησιμοποιείται τριμερές ή ακόμη τετραμερές μοντέλο.

Περίληψη

Οι μετρήσεις της σύστασης σώματος *in vivo* είναι πάντοτε έμμεσες και βασίζονται σε μία ή περισσότερες υποθέσεις που αφορούν τη φύση των συστατικών του σώματος, π.χ. λιπώδης μάζα και άλιπη μάζα, συμπεριλαμβανομένου του νερού, των πρωτεϊνών και του οστίτη ιστού. Παραδείγματα έμμεσων μεθόδων, που βασίζονται σε υποθέσεις προερχόμενες από αναλύσεις πτωματικού υλικού, αποτελούν η πυκνομετρία και η μέτρηση του ολικού νερού σώματος. Οι υπόλοιπες μέθοδοι είναι όλες διπλο-έμμεσες, που ελέγχονται συγκριτικά με άλλες έμμεσες μεθόδους, οπότε και βασίζονται σε περισσότερες υποθέσεις. Οποιαδήποτε μέθοδος και αν χρησιμοποιείται, το σημείο εκκίνησης είναι η μέτρηση της μάζας σώματος με μια σωστά βαθμονομημένη κλίμακα. Επακόλουθες υποδιαίρεσεις τη μάζας σώματος, όπως η λιπώδης και η άλιπη μάζα, έχουν ακρίβεια της τάξης του 1 kg ή και λιγότερο, ειδικά σε ασθενείς στους οποίους αυτές οι υποθέσεις έχουν παραβιαστεί από την ασθένειά τους.

Βιβλιογραφία

1. Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG. Human body composition. Human Kinetics, Champaign 1996.
2. Heyward VH, Stolarczyk LM. Applied body composition assessment. Human Kinetics Champaign 1996.
3. Speakman JR. Body composition analysis of animals: a handbook of non-destructive methods. Cambridge University Press, Cambridge 2001.
4. Fields DA, Higgins PB, Radley D. Air-displacement plethysmography: here to stay. *Curr Opin Clin Nutr Metab care* 2005;8:624-9.
5. Siri WE. The gross composition of the body. In: Tobias CA, Lawrence JH. (Eds), *Advances in biological and medical physics* (Vol 4. pp. 239-80). Academic, New York 1956.
6. Westerterp KR. Body composition, water turnover and energy turnover assessment with labelled water. *Proc Nutr Soc* 58: 945-951. 1999.
7. Schoeller DA, Tylavsky FA, Baer DJ et al. QDR 4500A dual-energy X-ray absorptiometer underestimates fat mass in comparison with criterion methods in adults. *Am J Clin Nutr* 2005;81:1018-25.

1.2.2. Ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIA)

M.C. Gonzalez, L.A. Nin, P.L.M. Reijnen

Μαθησιακοί στόχοι

- Η γνώση των αρχών ανάλυσης της βιοηλεκτρικής αντίστασης
- Η γνώση των ενδείξεων και αντενδείξεων της χρήσης της ως μεθόδου καθορισμού της σύστασης του σώματος στη κλινική πρακτική
- Η κατανόηση της χρήσης της ως προγνωστικού εργαλείου

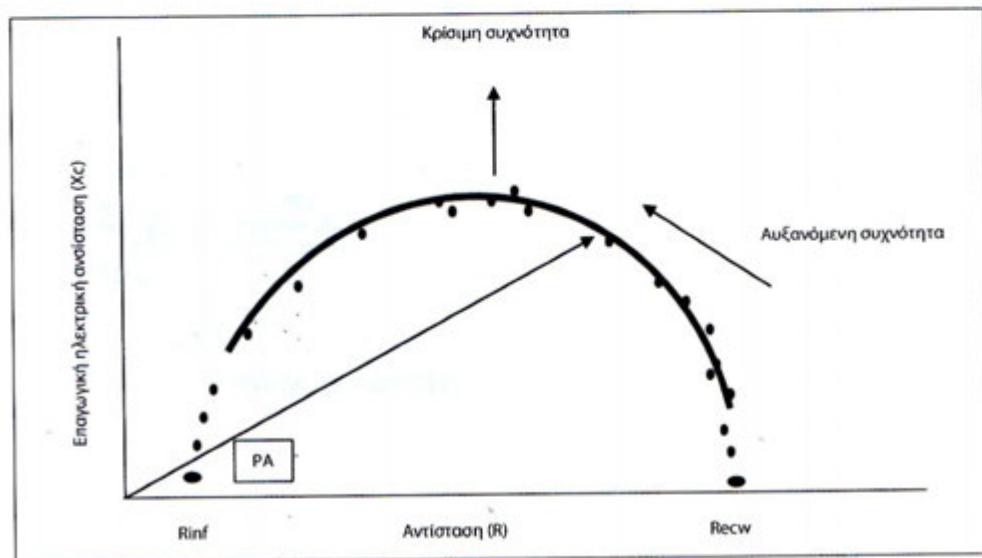
Εισαγωγή

Αρκετές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της σύστασης του σώματος (βλ. κεφάλαιο 1.2.1.). Παρ' όλα αυτά, πολλές από αυτές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς, καθώς είναι χρονοβόρες και συχνά δαπανηρές. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι ετών σημαντικό κομμάτι της έρευνας αφορά την ανάλυση βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIA) των συστατικών του σώματος. Πρόκειται για μια εύκολα προσβάσιμη μέθοδο μέτρησης της σύστασης του σώματος, η οποία ολοένα και πιο συχνά χρησιμοποιείται στην κλινική πρακτική. Οι κύριοι στόχοι αυτού του κεφαλαίου είναι οι αρχές και οι περιορισμοί αυτής της μεθόδου, καθώς και κάποιες νεότερες πληροφορίες.

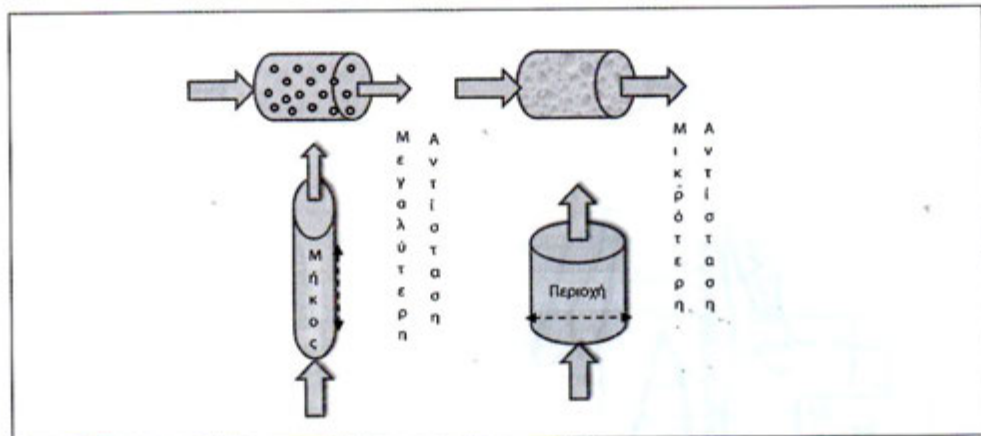
1.2.2.1. Βασική αρχή της μεθόδου

Η μέθοδος BIA βασίζεται στο γεγονός πως η αντίσταση του εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από τη σύσταση του σώματος (ειδικά ως προς το περιεχόμενο και την κατανομή του νερού και των ηλεκτρολυτών) (1). Σε έναν υγιή οργανισμό το περιεχόμενο του νερού στην άλιπη μάζα (FFM) είναι σχετικά αμετάβλητο. Επιπλέον, η λιπώδης μάζα περιέχει μικρά ποσά νερού και ηλεκτρολυτών και για αυτό η αντίστασή της είναι υψηλή.

Η αγωγιμότητα στη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος εξαρτάται από τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα χαμηλής συχνότητας εναλλασσόμενα ρεύματα διαπερνούν το σώμα κυρίως διαμέσου του ενδοκυττάριου χώρου, ενώ τα υψηλής συχνότητας ρεύματα διαπερνούν το σώμα και μέσω εξωκυττάριου και ενδοκυττάριου υγρού (2). Άλλα



Εικόνα 1.2.2.1. Η σχέση μεταξύ χωρητικής αντίστασης και αντίστασης με την αύξηση της συχνότητας σε βιολογικά συστήματα με χωρητικές ιδιότητες. $Recw$ - αντίσταση σε μηδενική συχνότητα. $Rinf$ - αντίσταση σε άπειρη συχνότητα. PA - η γωνία φάσης σε μία συγκεκριμένη συχνότητα.



Εικόνα 1.2.2.2. Η βιοηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από τη δομή και τη σύσταση του μετρούμενου αντικείμενου. Υψηλότερη βιοηλεκτρική αντίσταση (από περισσότερα λιπώδη κύτταρα, μεγαλύτερο μήκος ή/και μικρότερη διάμετρο) –αριστερά. Ελαττωμένη βιοηλεκτρική αντίσταση (από νερό και ηλεκτρολύτες, μικρότερο μήκος ή/και μεγαλύτερη διάμετρο) –δεξιά.

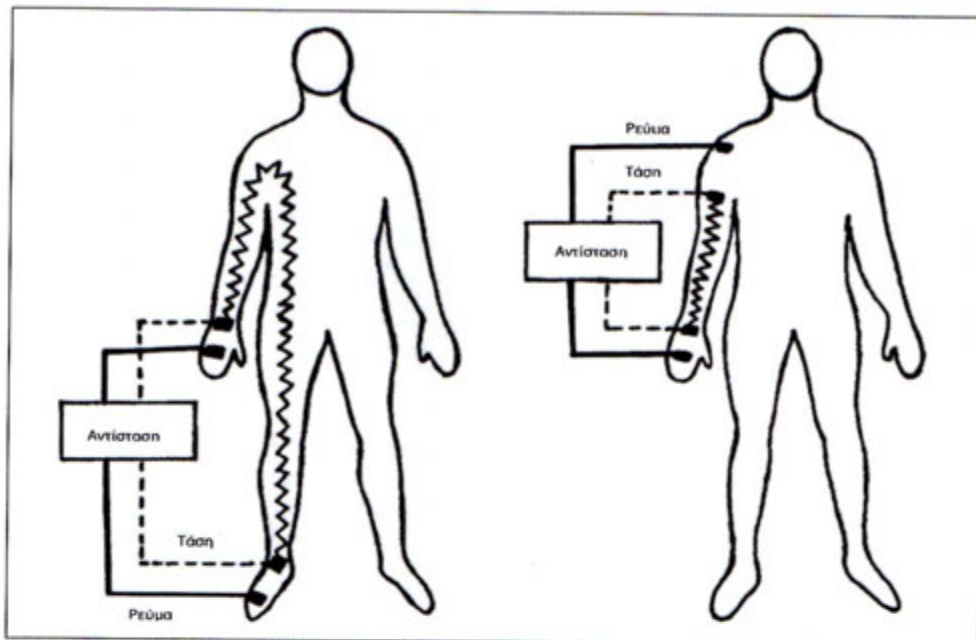
συστατικά, όπως τα οστά ή ο αέρας που περιέχεται στους πνεύμονες ή στο πεπτικό σύστημα, είναι κακοί αγωγοί και δεν πρέπει να συνυπολογίζονται (3). Η αγωγιμότητα παρ' όλα αυτά επηρεάζεται από κλινικές καταστάσεις, όπως η φλεγμονή (4).

Η βιοηλεκτρική αντίσταση (Z) συνίσταται από δύο παραμέτρους:

- **Αντίσταση (R)** –εμποδίζει τη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος και εξαρτάται κυρίως από το εξωκυττάριο νερό.
- **Χωρητική αντίσταση (Xc)** –καθορίζεται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες των κυτταρικών μεμβρανών, οι οποίες λειτουργούν ως πυκνωτές, λαμβάνοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο με εναλλασσόμενο τρόπο, το οποίο ταυτόχρονα απελευθερώνουν, προκαλώντας όμως καθυστέρηση στη δίοδο του ρεύματος. Αυτό το φαινόμενο εξαρτάται μερικώς από τη μάζα των κυττάρων του σώματος (5).

Η αντίσταση σε χαμηλής συχνότητας ρεύμα (μέχρι 50 kHz) αντιστοιχεί κυρίως στο εξωκυττάριο νερό, ενώ η χωρητική αντίσταση σε υψηλής συχνότητας (100-200 kHz) ρεύμα σχετίζεται με τον αριθμό των «ενεργών» κυττάρων, τα οποία διευκολύνουν τη δίοδο της υψηλής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος. Όσο υψηλότερης συχνότητας είναι το ρεύμα, τόσο μικρότερη θα είναι η αντίσταση και τόσο μεγαλύτερη θα είναι η χωρητική αντίσταση (6, 7).

Η επίδραση της συχνότητας στην αντίσταση R και στη χωρητική αντίσταση Xc φαίνεται στην εικόνα 1.2.2.1. Σε χαμηλές συχνότητες η αντίσταση R είναι υψηλή και η χωρητική αντίσταση Xc είναι σχεδόν αμελητέα. Με άλλα λόγια, σε συχνότητες μέχρι 50 kHz η βιοηλεκτρική αντίσταση Z πρακτικά καθορίζεται μόνο από την αντίσταση R, και η τιμή της χωρητικής αντίστασης Xc είναι χαμηλότερη από το 10% της συνολικής. Σε υψηλότερες συχνότητες (100-200 kHz), το ρεύμα διαπερνά τις κυτταρικές μεμβράνες και η χωρητική αντίσταση αυξάνεται, ενώ η αντίσταση μειώνεται.



Εικόνα 1.2.2.3. Η μέτρηση της βιοηλεκτρικής αντίστασης σε ολόκληρο το σώμα (αριστερά) και τμηματικά στον ένα βραχίονα (δεξιά).

Η γωνία φάσης (PA-phase angle) δεν μπορεί να εξηγηθεί ή να κατανοηθεί εύκολα, αλλά κρίνεται ότι έχει πιθανώς σημαντική κλινική αξία. Σε οποιαδήποτε συχνότητα η PA δίδεται από τον τύπο: $PA = (Xc/R) \cdot (180/\pi)$. Η PA είναι ανάλογη προς τη μάζα των κυττάρων του σώματος, ενώ επηρεάζεται αρκετά σε περίπτωση ασθένειας, καθώς επηρεάζεται το δυναμικό της μεμβράνης. Σε συχνότητες υψηλότερες συγκριτικά με την κρίσιμη συχνότητα, η χωρητική αντίσταση, που προηγουμένως αυξανόταν, μειώνεται και αυτή μαζί με την αντίσταση. Η μετρούμενη διαπερατότητα του ρεύματος αντιστοιχεί στην ανεξάρτητη ταλάντωση των ιόντων των κυτταρικών μεμβρανών.

Η αρχή που διέπει τη μέθοδο γίνεται πιο εύκολα κατανοητή, αν αναλογιστούμε το κλασικό παράδειγμα ενός κυλίνδρου που περιέχει ένα διάλυμα νερού και ηλεκτρολυτών. Η βιοηλεκτρική αντίσταση θα είναι ανάλογη προς το μήκος του κυλίνδρου, τη διατομή του και το περιεχόμενο νερού. Αν η μισή ποσότητα νερού και ηλεκτρολυτών αντι-

Πίνακας 1.2.2.1. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εξισώσεις ανάλυσης της βιοηλεκτρικής αντίστασης όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία για την εκτίμηση της άλιπης μάζας (FFM).

Εξίσωση για την εκτίμηση της ελεύθερης λίπους μάζας	Εργαλείο BIA	Κριτήριο μεθόδου	Βιβλ.
$-4,104 + 0,518 Ht^2/R_{50} + 0,231 \text{ βάρος} + 0,130 Xc + 4,229 \text{ φύλο}^*$	Xitron	DXA	9
Γυναίκες $-9,529 + 0,696 Ht^2/R_{50} + 0,168 \text{ βάρος} + 0,016 R_{50}$			
Ανδρες $-10,678 + 0,652 Ht^2/R_{50} + 0,262 \text{ βάρος} + 0,015 R_{50}$	RJL-101	Μοντέλο 4 διαμερισμάτων	10

κατασταθεί από έλαιο (λίπη), η τιμή της αντίστασης θα αυξηθεί σχεδόν στο διπλάσιο, καθώς το λίπος αποτελεί χαμηλής αγωγιμότητας αγωγό με μεγαλύτερη βιοηλεκτρική αντίσταση (εικόνα 1.2.2.2.) (8).

Στην εφαρμογή στον άνθρωπο γίνεται η υπόθεση πως το ύψος του ατόμου ισούται με το μήκος (L) της οδού του ρεύματος. Το ρεύμα πρέπει να διαπεράσει ένα ανομοιογενές (ως προς το περιεχόμενο νερού και ηλεκτρολυτών) μείγμα από διαφορετικούς ιστούς, ο καθένας από τους οποίους έχει διαφορετική κυτταρική σύσταση.

Το ανθρώπινο σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελούμενο από πέντε κυλίνδρους (που αντιστοιχούν σε δύο χέρια, δύο πόδια και τον κορμό) ο καθένας με τη δική του ποσοστιαία συνεισφορά στη συνολική εμπέδηση, που δεν αντιστοιχεί όμως ακριβώς στον όγκο του, καθώς η εμπέδηση εξαρτάται και από τη σύσταση και τη γεωμετρία των ιστών. Για το λόγο αυτό ο κορμός, παρά το γεγονός ότι διαμορφώνει σχεδόν το 50% του συνολικού βάρους σώματος, συντελεί μόνο σε ποσοστό 10% στη μετρούμενη συνολική εμπέδηση σώματος.

Οι εμπορικά διαθέσιμες συσκευές ανάλυσης βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIA) λειτουργούν σε μία (συνήθως 50 kHz) ή περισσότερες συχνότητες (τυπικά 4 ή περισσότερες) και η ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να εφαρμοστεί σε ολόκληρο το σώμα ή και τμηματικά (εικόνα 1.2.2.3.).

Είναι σημαντικό να θυμάται κανείς πως η ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIA) αποτελεί μια έμμεση μέθοδο για την αξιολόγηση της σύστασης του σώματος. Οι προγνωστικές εξισώσεις αποτελούν το αποτέλεσμα παλίνδρομης ανάλυσης. Έχουν δημοσιευτεί εκατοντάδες ανάλογων εξισώσεων, αλλά οι δύο ευρύτετα χρησιμοποιούμενες σε Ευρώπη και Ηνωμένες Πολιτείες φαίνονται στον πίνακα 1.2.2.1.

1.2.2.2. Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη μέτρηση με βιοηλεκτρική αντίσταση (BIA)

Δυστυχώς είναι αδύνατο να υπάρξει μία μόνο γενικευμένη εξίσωση, η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις (1). Υπάρχουν όμως ορισμένες συνθήκες όπου είναι απαραίτητες συγκεκριμένες ειδικές εξισώσεις. Η πιο σημαντική είναι η διαφορετική σχέση ανάμεσα στο μήκος του κορμού και των κάτω άκρων, όπως φαίνεται σε διαφορετικά εθνικά σύνολα. Καταστάσεις όπου το επίπεδο ενυδάτωσης της άλιπης μάζας δεν είναι το φυσιολογικό 73%, όπως διαφαίνεται σε παχύσαρκα άτομα και σε παθολογικές καταστάσεις, αποτελούν επίσης αντένδειξη της μη προσαρμοσμένης χρήσης γενικών προγνωστικών εξισώσεων (πίνακας 1.2.2.2.).

Ωστόσο, ακόμα και με μία άριστη εξίσωση, θα αναμενόταν σφάλματα στη ανάλυση της σύστασης του σώματος, όπως προκύπτει από τη μέθοδο βιοηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της έλλειψης τυποποιημένων μετρήσεων, του τυπικού σφάλματος της εξίσωσης, των περιορισμών των μεθόδων αναφοράς που χρησιμοποιούνται για έλεγχο, της απόκλισης στη γεωμετρία του σώματος από εκείνη που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη της εξίσωσης και εξαιτίας της βιολογικής μεταβλητότητας που παρατηρείται στα άτομα κατά τη διάρκεια της εξέτασης (9). Ένα τυπικό σφάλμα εκτίμησης μεγέθους 1,8 kg είναι αποδεκτό σε ένα πληθυσμιακό δείγμα, αλλά όχι σε ατομικά τεστ ή στην αξιολόγηση συγκεκριμένων κλινικών καταστάσεων (2).

1.2.2.3. Η ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIA) ως δείκτη υγείας των ιστών

Πέρα από τη χρησιμοποίησή της στη μέτρηση της σύστασης σώματος, η BIA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την ενυδάτωση των ιστών και την ακεραιότητα της κυτταρικής μεμβράνης. Μέσω των μετρήσεων της BIA μπορεί να υπολογισθεί η βιοηλεκτρική αντίσταση, η αντίσταση και η χωρητική αντίσταση, η γωνία φάσης και η διανυσματική ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIVA). Πρόσφατα έχουν συνδυαστεί αρκετοί παράγοντες, ώστε να παρέχουν έναν πιο ισχυρό «δείκτη νόσου» (12).

Η γωνία φάσης συγκεκριμένα θεωρείται σήμερα ένας καθολικός δείκτης για την υγεία των ιστών (7). Αποτελεί έναν αρκετά καλό δείκτη της μάζας των κυττάρων του σώματος, όπως και της ακεραιότητας και λειτουργίας της κυτταρικής μεμβράνης (7, 13). Πρέπει να σημειωθεί πως η γωνία φάσης μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται η διαπερατότητα της μεμβράνης, ακόμη και όταν η ποσότητα της μάζας των κυττάρων του σώματος παραμένει αμετάβλητη (8). Σε παλαιότερες δημοσιεύσεις διαπιστώθηκε πως η γωνία φάσης αποτελεί έναν αξιόπιστο δείκτη πρόγνωσης σε αρκετές κλινικές καταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων της σήψης, της HIV λοίμωξης, της εντατικής θεραπείας, του καρκίνου του πνεύμονα, του καρκίνου του κόλου και του ορθού, χειρουργικών καταστάσεων, της χημειοθεραπείας και πρόσφατα της χρόνιας ηπατικής νόσου και των μεταμοσχεύσεων (9). Άλλες δημοσιεύσεις έχουν δείξει πως η γωνία φάσης σχετίζεται με την

Πίνακας 1.2.2.2. Επιρροές δημογραφικών και κλινικών καταστάσεων στα αποτελέσματα της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης (11).

	Επιρροή	Σύσταση
Δημογραφικά στοιχεία		
Γένος	Διαφορετική σχέση ανάμεσα στο μήκος κορμού/άκρων και στην ενυδάτωση της άλιπης μάζας	Χρήση μιας ειδικής ως προς το γένος εξίσωσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης
Ηλικία	Μεταβολή στη διατομή και στην ενυδάτωση των ιστών	Χρήση μιας ειδικής ως προς την ηλικία εξίσωσης βιοηλεκτρικής εμπέδησης
Κλινική κατάσταση		
Καταστάσεις με μη ομαλή ενυδάτωση, (οίδημα, ασκίτης, αφυδάτωση)	Μεταβολή της ακρίβειας μέτρησης	Χρήση της BIVA ή τμηματικής BIA
Παχυσαρκία	Μη ομαλή ενυδάτωση, αυξημένο κλάσμα λίπους και μεταβολή στο σχήμα σώματος	Προσοχή όταν BMI >35 kg/m ² , χρήση τμηματικής BIA
Σοβαρή δυσθρεψία (BMI <16 kg/m ²) ή νευρική ανορεξία	Μεταβολή στην ιστική ενυδάτωση (ECW:ICW αναλογία)	Προσοχή εξαπατίας μεγάλων προγνωστικών σφαλμάτων
Νευρολογικές διαταραχές	Μεταβολή της αγωγιμότητας λόγω ισχνών ιστικών ανωμαλιών	Χρήση τμηματικής BIA για μακροχρόνια παρακολούθηση

κατάσταση θρέψης σε χειρουργικούς και ηλικιωμένους ασθενείς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ευαίσθητος δείκτης ελέγχου μετά από θρεπτικές παρεμβάσεις (14-16). Αυτά τα άρθρα συμφωνούν πως ο προγνωστικός ρόλος της γωνίας φάσης δεν εξηγείται κλινικά από την ποσότητα της μάζας των κυττάρων του σώματος, αλλά πως η PA αποτελεί έναν ανεξάρτητο προγνωστικό δείκτη. Η γενική εφαρμογή αυτών των συμπερασμάτων παρεμποδίζεται από το γεγονός πως για κάθε πληθυσμό χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές τιμές cut-off, εξαιτίας της έλλειψης τιμών αναφοράς για την PA σε υγιή πληθυσμούς.

Μέχρι το 2005 υπήρχαν μόνο μελέτες με μικρά δείγματα, τα οποία αποδείχθηκαν ανεπαρκή στο να δείξουν την αληθινή κατανομή της PA σε υγιείς πληθυσμούς. Πιο πρόσφατες μελέτες έδειξαν πως η PA, όπως και άλλες βιολογικές μονάδες μέτρησης, είναι μεγαλύτερη στους άνδρες από ό,τι στις γυναίκες και ελαττώνεται με την αύξηση της ηλικίας. Σύμφωνα με αυτές, η PA έχει τώρα συγκεκριμένες τιμές αναφοράς ως προς το φύλο αλλά και το γένος. Όσον αφορά άλλες βιολογικές μεταβλητές, η φυσιολογική PA ταβάλλεται σύμφωνα με τον πληθυσμό τον οποίο αφορά, όπως καταδεικνύεται σε μελέτη μοσίστευσης, που συγκρίνει την PA σε αμερικανικούς, ελβετικούς και γερμανικούς πληθυσμούς (17). Η μέτρηση της PA δύναται να αποτελέσει χρήσιμο δείκτη της λειτουργικής κατάστασης των ασθενών (18), αν και από τον Piccolo προτάθηκε ένας άλλος διαφέρων τρόπος ερμηνείας για τις πληροφορίες ανάλυσης της βιοηλεκτρικής αντίστασης (19, 20). Πρόκειται για τη διανυσματική ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης. Αυτή περιλαμβάνει ένα διάνυσμα δύο διαστάσεων, το οποίο χαράσσεται με τη χρήση αντίστασης και χωρητικής αντίστασης στα 50 kHz, αφού πρώτα καθοριστεί το ύψος του ασθενούς. Οι ατομικές μετρήσεις μπορούν να συγκριθούν με τα όρια εμπιστοσύνης (ελλείψεις) που προκύπτουν από τον υγιή πληθυσμό. Η μετατόπιση του διανύσματος πάνω στην έλλειψη παρέχει έναν ημιποσοτικό οδηγό της σύστασης του σώματος (περισσότερο λιγότερο μαλακό ιστό) και η βράχυνση ή η επιμήκυνση του διανύσματος δείχνει τις αλλαγές στην ενυδάτωση (περισσότερο ή λιγότερο υγρό).

1.2.2.4. Μέθοδοι ανάλυσης της βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIA) που χρησιμοποιούνται στην κλινική πράξη

Ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης μίας συχνότητας (SF-BIA)

Η SF-BIA συνήθως μετρά την εμπέδηση στα 50 kHz, και επιτρέπει τον υπολογισμό του ολικού νερού σώματος (TBW) και της άλιπης μάζας (FFM), βασισόμενη σε εμπειρικές εξισώσεις παλινδρόμησης. Συνήθως σε αυτές τις εξισώσεις, ειδικές για πληθυσμό, περιλαμβάνονται ο δείκτης αντίστασης ($L2/R50$), το ύψος και το βάρος.

Ανάλυση βιοηλεκτρικής αντίστασης πολλαπλών συχνοτήτων (MF-BIA)

Η MF-BIA μετρά την αντίσταση σε διαφορετικές συχνότητες. Ο αριθμός των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται διαφέρει μεταξύ των συσκευών BIA. Συνήθως η αντίσταση σε χαμηλή συχνότητα (<50 kHz) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του εξωκυτταρίου νερού (ECW), ενώ σε υψηλές συχνότητες (>100 kHz), οι οποίες διεισδύουν κυτταρικές μεμβράνες, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ολικού νερού σώματος (TBW). Η MF-BIA, όπως και η SF-BIA, χρησιμοποιεί εμπειρικά μοντέλα παλινδρόμησης

Η MF-BIA είναι πιο ακριβής για την πρόβλεψη του ECW σε σχέση με την SF-BIA και ειδικά σε ασθενείς σε κρίσιμη κατάσταση (1).

Έναν νεότερο τρόπο εκτίμησης της λειτουργίας της κυτταρικής μεμβράνης με τη χρήση συσκευής πολλαπλών συχνοτήτων αποτελεί ο επονομαζόμενος «δείκτης νόσου». Όταν η BIA γίνεται σε χαμηλή συχνότητα, το ρεύμα δεν μπορεί να διαπεράσει τις κυτταρικές μεμβράνες και η βιοηλεκτρική αντίσταση είναι σχετικά μεγάλη. Όταν χρησιμοποιείται υψηλή συχνότητα, το ρεύμα μπορεί να διαπεράσει τις κυτταρικές μεμβράνες και η βιοηλεκτρική αντίσταση είναι πιο μικρή. Σε φυσιολογικές συνθήκες, η αναλογία μεταξύ βιοηλεκτρικής αντίστασης στα 200 kHz και στα 5 kHz αντίστοιχα είναι πάντα μικρότερη της μονάδος. Ωστόσο, όταν η κυτταρική μεμβράνη παρουσιάζει μεταβολή/βλάβη της λειτουργίας της, αυτή η αναλογία πλησιάζει τη μονάδα, καθώς η «άρρωστη» μεμβράνη παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση στη δίοδο του ρεύματος, ακόμη και σε χαμηλότερες συχνότητες. Πρόσφατες μελέτες σε ασθενείς σε ΜΕΘ έδειξαν πως αυτός ο δείκτης νόσου μπορεί να θεωρηθεί αξιόπιστο εργαλείο στην πρόγνωση. Ασθενείς που απεβίωσαν στις ΜΕΘ ή κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο νοσοκομείο παρουσίασαν σημαντικά υψηλούς δείκτες νόσου σε σχέση με τους ασθενείς που επιβίωσαν (21).

Φασματοσκοπία βιοηλεκτρικής αντίστασης (BIS)

Η φασματοσκοπία βιοηλεκτρικής αντίστασης μετρά τη βιοηλεκτρική αντίσταση ανάμεσα σε 50 ή και περισσότερες συχνότητες. Η σχέση μεταξύ χωρητικής αντίστασης και αντίστασης σε διαφορετικές συχνότητες χρησιμοποιείται για τον κατά προσέγγιση υπολογισμό της αντίστασης σε μηδενική και άπειρη συχνότητα. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η αντίσταση τόσο του εξωκυττάριου νερού όσο και του ενδοκυττάριου. Σύμφωνα με αυτές τις τιμές αντίστασης μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος των συστατικών των υγρών, καθώς βασίζονται είτε στις εμπειρικές υπολογιζόμενες προγνωστικές εξισώσεις είτε στις εξισώσεις που βασίζονται στη θεωρία ανάμειξης Haraï (6). Επειδή αυτή η θεωρία ανάμειξης βασίζεται σε γενικούς φυσικούς νόμους, θα έπρεπε να είναι λιγότερη ειδική για τον πληθυσμό. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δείχνουν πως όταν συνδυάζονται οι ατομικές (και μη μετρούμενες) διαφορές στη γεωμετρία του σώματος και η ειδική αντίσταση των σωματικών υγρών, η υπόθεση αυτή ανατρέπεται (22, 23).

Συμπερασματικά, η SF-BIA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υγιείς ανθρώπους, ωστόσο η εφαρμογή των εξισώσεων θα πρέπει να ελέγχεται στον υπό μελέτη πληθυσμό και να είναι ειδική ως προς το γένος, την ηλικία και το φύλο. Η MF-BIA ή BIS φαίνεται να είναι πιο κατάλληλες σε άτομα με διαφοροποιημένη κατάσταση ενυδάτωσης ή που δύναται να διαφοροποιηθεί.

Περίληψη

Συμπερασματικά, η ανάλυση της βιοηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να θεωρηθεί ως η κατάλληλη επιλογή για την αξιολόγηση της σύστασης του σώματος με την προϋπόθεση πως τηρούνται κάποιοι βασικοί κανόνες. Αυτοί θα πρέπει να περιλαμβάνουν τη χρήση μιας εξίσωσης που έχει αναπτυχθεί για ειδικό πληθυσμό, κατά προτίμηση χωρίς ανισομέρεια υγρών ή ανωμαλιών στο σχήμα του σώματος και με το δείκτη μάζας σώμα-

τος να διακυμαίνεται μεταξύ 18-34 kg/m². Σε κλινικές καταστάσεις με μεταβολές στην κατανομή των υγρών, η MF-BIA και η BIS είναι πιο κατάλληλες από τη SF-BIA. Δεν έχει γίνει ακόμη δυνατό να δομηθεί μια ενιαία εφαρμοστέα εξίσωση BIA.

Η γωνία φάσης, η διανυσματική ανάλυση βιοηλεκτρικής αντίστασης και ο δείκτης νόσου υπολογίζονται άμεσα από την αντίσταση, τη χωρητική αντίσταση ή τη βιοηλεκτρική αντίσταση, ενώ στοιχεία της βιβλιογραφίας δείχνουν πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προγνωστικοί ή θρεπτικοί δείκτες. Μπορούν να παρέχουν πρακτικούς τρόπους για τη χρήση δεδομένων της ανάλυσης της βιοηλεκτρικής εμπέδησης σε κλινικές καταστάσεις όπου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξισώσεις παλινδρόμησης για την αξιολόγηση της σύστασης του σώματος.

Βιβλιογραφία

1. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M. Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* 2004;23:1226 - 1243.
2. Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996;64:436S-448S.
3. Chumlea WC, Guo SS. Bioelectrical impedance and body composition: present status and future directions. *Nutr Rev* 1994;52:123-31.
4. GIBI Brazilian Group for Bioimpedance Study. Total body bioelectrical impedance measurement as a progressive outcome prediction and therapeutic index in the comparison between septic and non septic patients. A multicenter Brazilian study. *R Metab Nutr* 1995;2:159 - 170.
5. De Lorenzo A, Andreoli A, Matthie J, Withers P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *J Appl Physiol* 1997;82:1542-58.6. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectric impedance phase angle and body composition. *Am J Clin Nutr* 1988;48:16-23.
6. Selberg O, Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *Eur J Appl Physiol* 2002;86:509 - 516.
7. Lukaski HC. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996;64:397S-404S.
8. Kyle UG, Genton L, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20 - 94 years. *Nutrition*. 2001;17:248- 53
9. Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr*. 2003;77:331-40
10. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M. Bioelectrical impedance analysis - part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* 2004;23:1430 - 1453.
11. Barbosa-Silva MCG, Barros AJD. Bioelectrical impedance analysis in clinical practice: a new perspective on its use beyond body composition equations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2005;8:311 - 317.
12. Kyle UG, Genton L, V.L.Karsegard, Raguso CA, Dupertuis YM, Pichard C. Percentiles (10, 25, 75 and 90th) for phase angle (PhA), determined by bioelectrical impedance (BIA), in 2740 healthy adults aged 20-75yr. *Clinical Nutrition* 2004;23:758.
13. Barbosa-Silva MCG, Barros AJD, Post CLA, Waitzberg DL, Heymsfield SB. Can bioelectrical impedance analysis identify malnutrition in preoperative nutrition assessment? *Nutrition* 2003;19:422 - 426.
14. Norman K, Smoliner C, Valentini L, Lochs H, Pirlich M. Is bioelectrical impedance vector analysis of value in the elderly with malnutrition and impaired functionality? *Nutrition* 2007;23:564-9.
15. Norman K, Stubler D, Baier P, et al. Effects of creatine supplementation on nutritional status, muscle function and quality of life in patients with colorectal cancer—a double blind randomised controlled trial. *Clin Nutr* 2006;25:596-605.
16. Bosty-Westphal A, Danielzik S, Dorhofer RP, Later W, Wiese S, Muller MJ. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2006;30:309-16.
17. Gunn SM, Halbert JA, Giles LC, Stepien JM, Miller MD, Crotty M. Bioelectrical phase angle in a

- clinical sample of ambulatory rehabilitation patients. *Dynamic Medicine* 2008; 7:14-21.
18. Piccoli A, Nescolarde LD, Rosell J. Análisis convencional y vectorial de bioimpedancia en la práctica clínica. *Nefrología* 2002;XXII:228 - 238.
 19. Piccoli A, Nigrelli S, Caberlotto A, et al. Bivariate normal values of the bioelectrical impedance vector in adult and elderly populations. *Am J Clin Nutr* 1995;61:269-70.
 20. Gonzalez MC, Maslonek J, Ulliano GL, Munareto MM, Teixeira LO. Illness marker as a prognostic tool in intensive care unit: a prospective study. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2009;33:219.
 21. Cox-Reijven PLM, van Kreel, Soeters PB. Bioelectrical impedance measurements in patients with gastrointestinal disease. Validation of the spectrum approach and a comparison of different methods for screening nutritional depletion. *Am J Clin Nutr* 2003; 78:1111-1119.
 22. Cox-Reijven PL, van Kreel B, Soeters PB. Accuracy of bioelectrical impedance spectroscopy in measuring changes in body composition during severe weight loss. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2002;26:120-127.

1.3. Διάγνωση της δυσθρεψίας: ανίχνευση και αξιολόγηση

M.A.E. van Bokhorst – de van der Schueren, P.B. Soeters, P.L.M. Reijven, S.P. Allison, J. Kondrup

Μαθησιακοί στόχοι

- Η εκμάθηση των αρχών και της πρακτικής της διατροφικής ανίχνευσης
- Η εκμάθηση των αρχών της διατροφικής αξιολόγησης και η κατανόηση των τεχνικών της διατροφικής αξιολόγησης
- Η γνώση των ορίων των διάφορων μεθόδων διατροφικής αξιολόγησης

Η διατροφική ανίχνευση πραγματοποιείται όλο και περισσότερο στα νοσοκομεία, αλλά ένας μεγάλος αριθμός των περιπτώσεων δυσθρεψίας εξακολουθεί να παραμένει αδιάγνωστος και χωρίς θεραπεία. Αυτό οφείλεται κυρίως στην έλλειψη εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης του προσωπικού, αλλά και στην έλλειψη έγκυρων πρωτοκόλλων για την ανίχνευση, αξιολόγηση και αντιμετώπισή της. Ένα άλλο πρόβλημα είναι επίσης η έλλειψη συναίνεσης όσον αφορά τον ορισμό της δυσθρεψίας.

1.3.1. Ορισμός της δυσθρεψίας

Έχουν προταθεί αρκετοί ορισμοί για τη δυσθρεψία και τις μεθόδους αξιολόγησής της. Αναγνωρίζοντας ότι ο όρος «δυσθρεψία» περιλαμβάνει και τους κλινικά αρκετά υπέρβαρους, η ESPEN επικεντρώνει το ενδιαφέρον της κυρίως στην κλινικά σημαντική υποθρεψία και προτείνει έναν ορισμό, ο οποίος όχι μόνο καλύπτει τις φυσικές αλλαγές στη σύσταση του σώματος, αλλά και τις συνέπειες αυτών όσον αφορά τη λειτουργικότητα και το κλινικό αποτέλεσμα (1, 2). Με άλλα λόγια έχει προσεγγίσει το πρόβλημα σαν θεραπευτικό ζήτημα θέτοντας το ερώτημα «Σε ποιο σημείο ο υποσιτισμός παρεμβαίνει στη λειτουργικότητα και βλάπτει τα κλινικά αποτελέσματα; Κατά πόσο κάνει τη διαφορά η διατροφική υποστήριξη;»

Η ESPEN προτείνει τον ακόλουθο ορισμό του υποσιτισμού: «Μία κατάσταση που προκύπτει από την έλλειψη πρόσληψης ή απορρόφησης τροφής και η οποία οδηγεί σε αλλαγή της σύστασης του σώματος (μειωμένη FFM και σωματική κυτταρική μάζα –BCM), οδηγώντας σε μειωμένες σωματικές και διανοητικές λειτουργίες και σε επιβαρυνμένο κλινικό αποτέλεσμα από τη νόσο». Στις πιθανώς ανατάξιμες κλινικές καταστάσεις, ένας τέτοιος ορισμός είναι επίσης χρήσιμος για τον προσδιορισμό των περιπτώσεων εκείνων στις οποίες η διατροφική υποστήριξη ενδέχεται να κάνει τη διαφορά.

Στην κλινική πράξη ωστόσο, η παροχή τροφής δεν είναι ο μόνος παράγοντας που προκαλεί υποσιτισμό. Ο αυξημένος ρυθμός κατανάλωσης θρεπτικών συστατικών λόγω του επιταχυνόμενου καταβολισμού αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα σε καταστάσεις τραύματος και φλεγμονώδους νόσου. Αν και η οφειλόμενη σε χαμηλή πρόσληψη τροφής δυσθρεψία είναι εύκολα αναστρέψιμη με τη διατροφική υποστήριξη, κατά τη διάρκεια της καταβολικής φάσης της νόσου το αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας και η ισορροπία αζώτου δεν μπορούν να αντιστραφούν με την τροφή και μόνο, ακόμα και όταν χορηγείται σε μεγάλες ποσότητες. Μόνο όταν υποχωρήσει η φλεγμονή και ξεκινήσει η διαδικασία της ανάρρωσης μπορεί να αποκατασταθεί ο χαμένος ιστός (3, 4). Στις μελέτες του Beisel (5) το ένα τρίτο των απωλειών αζώτου κατά τη διάρκεια της πειραματικής μόλυνσης υγιών εθελοντών οφειλόταν στη μειωμένη πρόσληψη τροφής, τη σχετιζόμενη με την εμπύρετη νόσο και κατά τα δύο τρίτα στη μόλυνση αυτή καθαυτή. Ωστόσο αυτό δεν πρέπει να οδηγήσει σε μια μηδενιστική προσέγγιση, καθώς η διατροφική υποστήριξη μπορεί να αντιστρέψει το πρόβλημα της χαμηλής πρόσληψης τροφής κατά τη διάρκεια της ασθένειας, καθώς και να συμβάλει στη διατήρηση της λειτουργικότητας, π.χ. της ανοσολογικής απόκρισης.

Για τους λόγους αυτούς η αξιολόγηση του διατροφικού κινδύνου δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει μόνο στατικές μετρήσεις, όπως ο Δείκτης Μάζας Σώματος (ΔΜΣ) ή ανθρωπομετρικούς παράγοντες, αλλά και κάποιο είδος μέτρησης της βαρύτητας της νόσου και της λειτουργικότητας, π.χ. αξιολόγηση της διάθεσης, δύναμη χειρολαβής και τη μέγιστη εκπνευστική ροή (6-14).

Πρόσφατα, μια διεθνής επιτροπή διατύπωσης κατευθυντήριων οδηγιών, η International Consensus Guideline Committee, συμφώνησε σε έναν αιτιολογικά βασισμένο ορισμό της αστίας στον ενήλικο πληθυσμό και της σχετιζόμενης με ασθένεια δυσθρεψίας στην κλινική πράξη. Η «σχετιζόμενη με την αστία δυσθρεψία» είναι παρούσα όταν υπάρχει χρόνια αστία χωρίς φλεγμονή (π.χ. νευρογενής ανορεξία), η «σχετιζόμενη με χρόνιες ασθένειες δυσθρεψία» όταν η φλεγμονή είναι χρόνια και ήπιου έως μέτριου βαθμού (π.χ. οργανική ανεπάρκεια, καρκίνος, ρευματοειδής αρθρίτιδα ή σαρκοπενική παχυσαρκία) και η «σχετιζόμενη με οξεία νόσο ή τραυματισμό δυσθρεψία» όταν η φλεγμονή είναι οξεία και σοβαρού βαθμού (π.χ. σοβαρή λοίμωξη, εγκαύματα, τραύμα ή κλειστό τραύμα κεφαλής) (15).

Επιπλέον, ο όρος «δυσθρεψία» μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδώσει τόσο τον υπερ- όσο και τον υπο-σιτισμό. Λόγω των παραπάνω, ο ορισμός της δυσθρεψίας έχει τροποποιηθεί ως εξής:

«Η δυσθρεψία είναι μια υποξεία ή χρόνια κατάσταση διαταραγμένης διατροφής, κατά την οποία ένας συνδυασμός διάφορων βαθμών υπερ- ή υποθρεψίας και φλεγμονώδους εξεργασίας οδηγεί σε αλλαγή στη σύνθεση του σώματος και σε μειωμένη λειτουργικότητα» (16).

Και οι δύο ορισμοί είναι έγκυροι και ίσως θα έπρεπε να εξεταστούν από κοινού, διότι είναι σημαντικό ότι κάθε ορισμός θα πρέπει να έχει ένα θεραπευτικό στοιχείο το οποίο θα βοηθά τον κλινικό στην επιλογή των ασθενών εκείνων που πιθανώς να ωφεληθούν από τη διατροφική παρέμβαση.

Η διαδικασία εντοπισμού ασθενών με προβλήματα διατροφής αρχίζει με μια ταχεία διαδικασία ανίχνευσης, η οποία ακολουθείται από μια πιο λεπτομερή εκτίμηση εκείνων που εμφανίζονται από τον έλεγχο να βρίσκονται σε κίνδυνο.

1.3.2. Ανίχνευση (screening)

Ένα καλό εργαλείο ανίχνευσης δεν θα πρέπει μόνο να είναι απλό, γρήγορο και εύκολο στη χρήση του από το προσωπικό, αλλά οφείλει να πληροί και ορισμένα κριτήρια, όπως προγνωστική εγκυρότητα, εγκυρότητα περιεχομένου και αξιοπιστία, ενώ επιπλέον θα πρέπει να οδηγεί σε κατάλληλη και σαφή δράση (17). Την τελευταία δεκαετία έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία εργαλείων για την ανίχνευση της δυσθρεψίας. Αυτά περιλαμβάνουν συνήθως απλές ερωτήσεις σχετικά με το πραγματικό βάρος, την πρόσφατη ακούσια απώλεια βάρους και την πρόσφατη πρόσληψη τροφής. Μετρήσεις ύψους και βάρους, με υπολογισμό του ΔΜΣ ανήκουν επίσης στα χαρακτηριστικά στοιχεία. Παραδείγματα έγκυρων, εύκολων και γρήγορων μέτρων ανίχνευσης (18) είναι το Malnutrition Screening Tool-MST (19) και το Short Nutritional Assessment Questionnaire-SNAQ (20).

Ορισμένα από τα εργαλεία ανίχνευσης περιλαμβάνουν επίσης κλινική κρίση, φυσική εξέταση, εκτίμηση της βαρύτητας της νόσου και υπολογισμό θρεπτικών συστατικών, αν και αυτά δεν θα πρέπει να χαρακτηριστούν ως εργαλεία ανίχνευσης, αλλά πιο σωστά να θεωρηθούν εκτιμήσεις, όπως π.χ. η υποκειμενική σφαιρική αξιολόγηση (Subjective Global Assessment-SGA) (21), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για πάνω από 20 χρόνια και χρησιμοποιείται συχνά ως σημείο αναφοράς για την ανάπτυξη νέων εργαλείων.

To Nutritional Risk Screening (NRS-2002) (13), που εγκρίθηκε από την ESPEN, και το Malnutrition Universal Screening Tool (MUST) (14), που αναπτύχθηκε από την BAPEN (British Association for Parenteral and Enteral Nutrition), χρησιμοποιούνται ευρέως στην Ευρώπη. Για τη χρήση των SGA και NRS-2002 απαιτείται μια σχετική εκπαίδευση.

Ορισμένα εργαλεία ελέγχου είναι περισσότερο κατάλληλα για ορισμένες κατηγορίες ασθενών. Για ενήλικες ασθενείς που νοσηλεύονται είναι κατάλληλα το υποστηριζόμενο από την ESPEN NRS-2002 (βλ. εικόνα 1.3.4.) ή το MUST, το SNQ ή το MST. Στην κοινότητα το MUST απέδειξε την αξία του. Για τους ηλικιωμένους στην κοινότητα ή στο νοσοκομείο είναι κατάλληλα το MNA (22) ή η συντομότερη μορφή του, το MNA-SF (23).

1.3.3. Διατροφική αξιολόγηση

Η διατροφική αξιολόγηση αποτελεί μια πιο λεπτομερή και χρονοβόρα διαδικασία, η οποία εφαρμόζεται σε όσους ασθενείς κρίθηκαν σε κίνδυνο, από προσωπικό με εμπειρία στην