

Ανάλυση σύστασης σώματος στην παχυσαρκία: Ραδιονουκλιδικές και μη ραδιονουκλιδικές μέθοδοι εκτίμησης

Περίληψη

Οι τεχνικές ανάλυσης σύστασης σώματος (σωματομετρία) εκτιμούν τη σωματική αναλογία σε οστική, λιπώδη και μη λιπώδη μάζα και έχουν εφαρμογή σε επιδημιολογικές και εργαστηριακές μελέτες καθώς και στην καθημερινή κλινική πράξη. Οι παλαιότερες μέθοδοι περιλαμβάνουν την υδροπυκνομετρία, την αεροπυκνομετρία, την ραδιοϊσοτοπική εκτίμηση ολοσωματικού ύδατος και καλίου, το άθροισμα δερματοπυκνών και οι πιο σύγχρονες την αεροπυκνομετρία, τη βιοηλεκτρική αντίσταση των ιστών (BAI), τη διπλή ενεργειακή απορρόφηση ακτινών Χ (DEXA), την αξονική και μαγνητική τομογραφία. Επίσης, η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET-scan) συνεισέφερε ουσιαστικά στη λειτουργική διεύρυνση του λιπώδους ιστού, ιδίως του φαιού. Η σωματομετρία συμβάλλει στην κατανόηση πολλών φυσιολογικών καταστάσεων όπως η άθληση, η εφηβεία, η εμμηνόπαυση και το γήρας αλλά και διαφόρων παθήσεων όπως οι διατροφικές διαταραχές, η απίσχναση, ο καρκίνος, η παχυσαρκία, ο σακχαρώδης διαβήτης, το μεταβολικό σύνδρομο κ.ά. Στην παχυσαρκία ειδικότερα, η ανάλυση της σύστασης σώματος συμβάλλει στη διάγνωση, αλλά και στην κατανόηση της παθολογικής κατανομής του σωματικού λίπους (σπλαχνικού τύπου παχυσαρκία). Επίσης, στη διάκριση μορφών ψευδούς παχυσαρκίας, όπως σε υπερανδρογοναιμία και στην άθληση και στη διάγνωση της σαρκοπενικής μορφής της παχυσαρκίας, όπου υπάρχει αναλογικά μεγάλη αύξηση λιπώδους ιστού και σημαντική μείωση του μυϊκού. Κατά την απώλεια βάρους, ορισμένες εξειδικευμένες τεχνικές μπορούν να εκτιμήσουν την επιμέρους σύσταση των απολεσθέντων κιλών. Σε εξειδικευμένα κέντρα παχυσαρκίας, κλινικές και νοσοκομεία, οι σύγχρονες διαγνωστικές μέθοδοι με DEXA και αεροπληθυσμογραφία προσφέρουν μεγάλη ακρίβεια στην ανάλυση των επιμέρους συστατικών στην παχυσαρκία, πριν και μετά την απώλεια βάρους. Για την καθημερινή πρακτική, εκτός του δείκτη μάζας σώματος και της περιμέτρου μέσης που πρέπει να μετρώνται σε κάθε παχύσαρκο, οι τεχνικές BAI και το άθροισμα των δερματοπυκνών, αποτελούν τις πιο πρακτικές και εύκολες λύσεις σε μετρίου βαθμού παχυσαρκία, αν και στερούνται μεγάλης ακρίβειας,

Hell J Nucl Med 2008; 11(1): 63- 71

Εισαγωγή

Η εκτίμηση της σύστασης του σώματος (σωματομετρία) συμβάλλει στην κατανόηση πολλών φυσιολογικών καταστάσεων όπως η άθληση, η εφηβεία, η εμμηνόπαυση και γήρας αλλά και παθολογικών καταστάσεων όπως είναι η απίσχναση, ο καρκίνος, η παχυσαρκία, ο σακχαρώδης διαβήτης κ.α. [1]. Ειδικότερα στην παχυσαρκία, σε επιδημιολογικό επίπεδο, οι διάφορες μέθοδοι ανάλυσης του σώματος βοηθούν στον καθορισμό της νοσηρότητας λόγω αυξημένου σωματικού λίπους αλλά και της παθολογικής κατανομής αυτού. Στην καθημερινή κλινική πράξη οι μέθοδοι αυτές, εκτός της διαγνωστικής τους σημασίας, προσφέρουν τη δυνατότητα εκτίμησης ποσοτικών και ποιοτικών μεταβολών της σύστασης του σώματος κατά την απώλεια ακόμη και μικρού βαθμού σωματικού βάρους (ΣΒ). Οι σύγχρονες σωματομετρικές τεχνικές έχουν ρίξει αρκετό φως στην παθοφυσιολογία της παχυσαρκίας η οποία χαρακτηρίζεται όχι μόνο από αύξηση του λίπους αλλά και της άλιπης μάζας (AM, fat-free mass, FFM). Η αύξηση αυτή της AM εξηγεί την αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση των παχύσαρκων ατόμων [2]. Χάρη στη συμβολή της σωματομετρίας και ιδίως μέσω της αξονικής (AT) και μαγνητικής τομογραφίας (MT), έγινε κατανοητός ο επιβαρυντικός ρόλος του ενδοσπλαχνικού λίπους στους μεταβολικούς παράγοντες κινδύνου και στα καρδιαγγειακά νοσήματα [3]. Οι πρόσφατες μέθοδοι όπως αυτές της διπλής φωτονιακής απορρόφησης (dual energy X-rays absorptiometry, DEXA) συνέβαλλαν στον χαρακτηρισμό ατόμων με ψευδή παχυσαρκία λόγω χρήσης αναβολικών, υπερανδρογοναιμίας ή σε αθλητές. Επίσης, διερευνήθηκε λεπτομερώς η σαρκοπενική παχυσαρκία δηλαδή η παχυσαρκία εκείνη που χαρακτηρίζεται από πολύ αυξημένο σωματικό λίπος σε αντίθεση με την ελαττωμένη μυϊκή μάζα [4]. Σαρκοπενική παχυσαρκία παρατηρείται σε ενδοκρινικές διατα-

**Θεμιστοκλής Τζώτζας¹,
Γεράσιμος Ε. Κρασσάς¹
Αργύριος Δούμας²**

1. Κλινική Ενδοκρινολογίας, Διαβήτου και Μεταβολισμού, Νοσοκομείο Παναγία, Θεσσαλονίκη
2. Τμήμα Πυρηνικής Ιατρικής, Αριστοτελείου Παν/μίου Θεσσαλονίκης, Νοσοκομείο Παπαγεωργίου, Θεσσαλονίκη

☆☆☆

Λέξεις ευρετηρίου: Ολοσωματικό λίπος – Άλιπος μάζα – Μέθοδος διπλής απορρόφησης – PET – Μαγνητική τομογραφία

Διεύθυνση αλληλογραφίας:

Κρασσάς Γεράσιμος
Ν. Πλαστήρα 22,
55132 Ν. Κρήνη, Θεσσαλονίκη
τηλ. 2310-479633 &
2310278279
φαξ: 2310-282476
e-mail: krassas@the.forthnet.gr

Υποβλήθηκε:

30 Ιανουαρίου 2008

Εγκρίθηκε τροποποιημένη:

19 Μαρτίου 2008

ραχές όπως υπογοναδισμός, σύνδρομο Cushing και μακροχρόνια λήψη κορτικοστεροειδών, ανεπάρκεια αυξητικής ορμόνης, σε νευρομυϊκά νοσήματα αλλά και σε παρατεταμένη ακινητοποίηση.

Στην παρακάτω ανασκόπηση θα αναφερθούν όλες οι παλαιές και σύγχρονες μέθοδοι ανάλυσης της σύστασης του σώματος, τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί τους στην κλινική εφαρμογή αλλά και η σημασία ιδιαίτερα των ραδιοϊσοτοπικών τεχνικών και των τεχνικών της ΑΤ και της ΜΤ στον τομέα της παχυσαρκίας και της απώλειας βάρους.

Η σύσταση του σώματος

Οι ανθρώπινοι ιστοί αποτελούνται από 5 βασικά συστατικά τα οποία είναι το νερό, οι πρωτεΐνες, τα άλατα, το γλυκογόνο και το λίπος [1]. Το νερό αποτελεί το μεγαλύτερο τμήμα του βάρους του σώματος. Το ολοσωματικό νερό (total body water) αποτελεί το 75% του σώματος και βρίσκεται κυρίως ενδοκυττάρια αλλά και στους διάμεσους ιστούς. Συνδέεται με πρωτεΐνες, γλυκογόνο, οστικά άλατα και άλλα χημικά συστατικά. Οι πρωτεΐνες καταλαμβάνουν 4-5 kg σε υγιείς ενήλικες και βρίσκονται ενδοκυττάρια και εξωκυττάρια. Οι κύριες πρωτεΐνες είναι το δομικό κολλαγόνο του συνδετικού ιστού και η ακτινομοσίνη των μυών. Τα άλατα, συνολικής ποσότητας πάνω από 1,5 γραμ. για ένα ενήλικα, βρίσκονται κυρίως στα οστά και τους μαλακούς ιστούς. Τα κυριότερα άλατα είναι τα: ασβέστιο (Ca), φώσφορος (P), κάλιο (K), νάτριο (Na), χλώριο (Cl), μαγνήσιο (Mg), σίδηρος (Fe), ψευδάργυρος (Zn). Το ολοσωματικό νερό, οι πρωτεΐνες και τα άλατα συνθέτουν το 98% της άλιπης μάζας του σώματος. Ένα μεγάλο μέρος του υπόλοιπου 2% είναι το γλυκογόνο. Ένας ενήλικας έχει 300-700 g γλυκογόνο, το οποίο εντοπίζεται στο ήπαρ και στους σκελετικούς μύες. Τέλος, το λίπος βρίσκεται αποθηκευμένο σε όλο το σώμα υπό μορφή τριγλυκεριδίων. Η αποθήκευσή του λίπους γίνεται κυρίως υποδόρια και ενδοσπλαχνικά, αλλά σημαντική ποσότητα λίπους μπορεί να συσσωρευθεί γύρω και μέσα στους μύες, ιδιαίτερα στην 3^η ηλικία.

Οι κύριοι ιστοί που συνθέτουν το ανθρώπινο σώμα και εκτιμούνται συχνά στην κλινική πράξη είναι: Ο λιπώδης ιστός, οι σκελετικοί μύες, τα οστά και τα σπλάχνα [1]. Για κάθε ιστό αλλά και για το νερό του σώματος χρησιμοποιείται συγκεκριμένη ορολογία, η οποία είναι κοινή στις περισσότερες σωματομετρικές εφαρμογές. Τα συμπαγή στοιχεία διακρίνονται για λόγους ευκολίας σε 2 συστατικά: Το λιπώδη ιστό (ΛΙ - fat mass ή body fat) και το μη λιπώδη ιστό (ΜΛΙ - free fat mass) ή άλιπη μάζα (ΑΜ - lean mass) [5].

Το ολοσωματικό λίπος (ΟΣΛ) αυξάνει φυσιολογικά με την ηλικία, και είναι περισσότερο στις γυναίκες σε σχέση με τους άνδρες. Ένας φυσιολογικού βάρους άνδρας έχει 12%-20% λίπος ενώ μία γυναίκα 20%-30%. Πάνω από αυτά τα όρια ομιλούμε για παχυσαρκία [6]. Η ποσότητα του λίπους μπορεί να κυμαίνεται ευρέως και να αποτελεί το 2% έως 70% του σωματικού βάρους. Στους αθλητές αντοχής υψηλών αποστάσεων τα ποσοστά σωματικού λίπους κυμαίνονται από 6%-8% ενώ σε καταστάσεις υποσιτισμού και ανορεξίας τα αντίστοιχα ποσοστά είναι συνήθως κάτω από 5%.

Οι ιδιαιτερότητες της σύστασης σώματος στην παχυσαρκία

Η παχυσαρκία χαρακτηρίζεται από αύξηση της ποσότητας του λιπώδους ιστού και τις πιο πολλές φορές από παράλληλη αύξηση της άλιπης μάζας. Η αυξημένη άλιπη μάζα αντικατοπτρίζει κατά ένα μεγάλο ποσοστό τον ενδοκυττάριο χώρο, δηλαδή την ενεργό κυτταρική μάζα –κυρίως το μυϊκό ιστό– και το γεγονός αυτό εξηγεί την αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση ηρεμίας των παχυσάρκων [7]. Από την άλλη μεριά, οι μελέτες ανάλυσης της σύστασης του σώματος με ραδιοϊσότοπα έδειξαν ότι η αύξηση του ενδοκυττάρια χώρου (νερού), είναι σημαντικότερου βαθμού από αυτήν του εξωκυττάρια και αυτό οφείλεται στην αυξημένη τριχοειδική διαπερατότητα, στον αυξημένο εξωκυττάρια χώρο του λιπώδους ιστού, σε αιμοδυναμικές καρδιακές διαταραχές και στον δευτεροπαθή υπεραλδοστερονισμό που παρατηρείται στα παχύσαρκα άτομα [8]. Οι υδρικές αυτές διαταραχές είναι πιο έντονες στη νοσογόνο παχυσαρκία και επιδεινώνονται κατά τη διάρκεια δίαιτας πτωχής σε υδατάνθρακες, σε στερεπτικές δίαιτες πολύ χαμηλών θερμίδων και μετά από βαριατρικές επεμβάσεις για παχυσαρκία. Πολλές φορές παραμένουν ακόμη και πολλούς μήνες μετά την απώλεια του σωματικού βάρους [9].

Οι μέθοδοι ανάλυσης της σύστασης του σώματος και η παχυσαρκία

Σε γενικές γραμμές διακρίνουμε 2 μοντέλα μεθόδων σωματικής ανάλυσης [10]. Στο πρώτο μοντέλο, το οποίο στηρίζεται στην εκτίμηση πολλών συστατικών του σώματος (multi-component model) υπολογίζονται τα επιμέρους συστατικά της άλιπης μάζας, δηλαδή ο μυϊκός ιστός, τα οστά, οι μαλακοί ιστοί και το νερό, καθώς και η επιμέρους κατανομή του λιπώδους ιστού. Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν τεχνικές όπως η διπλή ενεργειακή απορρόφηση ακτίνων Χ (DEXA), η αξονική και μαγνητική τομογραφία κ.α. Στο δεύτερο, το οποίο ονομάζεται μοντέλο εκτίμησης δυο συστατικών (two component model), εφαρμόζονται τεχνικές μέτρησης όπου εξ ορισμού το σώμα αποτελείται από λιπώδη και μη λιπώδη μάζα, με την τελευταία να θεωρείται ότι έχει σταθερή σύσταση στα ενήλικα άτομα. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν κλασικές μέθοδοι όπως η ιστοτοπική μέτρηση ολοσωματικού νερού και καλίου, η μέθοδος της βιοηλεκτρικής αντίστασης των ιστών, οι ανθρωπομετρικές μέθοδοι κ.α. Η μόνη πραγματικά άμεση μέθοδος εκτίμησης της σωματικής σύστασης είναι η νεκροτομική χημική ανάλυση [11]. Ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων μεθόδων (multi-compartment models) μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια εκτίμησης της σύστασης σώματος [12]. Στον Πίνακα 1 απαριθμούνται αναλυτικά οι κύριες μέθοδοι σωματομετρίας.

Οι μέθοδοι εκτίμησης πολλών διαμερισμάτων

Η μέθοδος της διπλής ενεργειακής απορρόφησης των ακτίνων Χ (Dual-energy X-rays absorptiometry)

Η μέθοδος αυτή είναι σήμερα η πιο διαδεδομένη τεχνική ποσοτικοποίησης των οστικών αλάτων, και θεμελιώθηκε από

Πίνακας 1. Οι κύριες σωματομετρικές μέθοδοι.

Α. Μέθοδοι εκτίμησης δύο συστατικών σώματος	
Υδροπυκνομετρία	Μέτρηση ολοσωματικού καλίου 40
Αεροπυκνομετρία	Βιοηλεκτρική αντίσταση των ιστών
Μέτρηση ολοσωματικού νερού	Ανθρωπομετρικές μέθοδοι
Β. Μέθοδοι εκτίμησης πολλών διαμερισμάτων	
Διπλή ενεργειακή απορρόφηση ακτινών Χ (DXA)	Μαγνητική τομογραφία Αξονική τομογραφία
Γ. Άμεσοι μέθοδοι	
Νεκροτομική ανάλυση	Ενεργοποίηση ουδετερονίων

τους Cameron και Sorenson το 1963. Κατ' αυτή κατευθύνεται στο σώμα μία δέσμη ακτινών Χ δύο διαφορετικών ενεργειακών πεδίων και ανάλογα με το βαθμό απορρόφησης των ακτινών από τους ιστούς εκτιμάται η σύσταση του σώματος [10]. Με την μέθοδο DEXA μελετώνται 3 συστατικά του σώματος δηλαδή ο μυϊκός ιστός, ο λιπώδης και η οστική μάζα. Η εξέταση γίνεται σ' ένα ολοσωματικό σαρωτή (scanner) με τον ασθενή σε ύπια θέση και την ακτινοβολία Χ να πέφτει κάθετα «σαρώνοντας» ολόκληρη την επιφάνεια του σώματος. Με την βοήθεια ενός ανιχνευτή, συνήθως σπινθηριστή NaI, μετρούμε το ποσοστό των φωτονίων που εξέρχονται από το ανθρώπινο σώμα χωρίς σημαντική αλλαγή της διεύθυνσης και της ενέργειάς τους. Κυκλοφορούν δύο μοντέλα μηχανημάτων σάρωσης, το τύπου Lunar (Lunar DPX, Madison, Wisconsin, USA) και το τύπου Hologic (Hologic, Waltham, Massachusetts, USA). Η διάρκεια της εξέτασης είναι 10 με 20 min. και η ακτινοβολία που δέχεται το άτομο ελάχιστη, μόλις το 1/10 μιας ακτινογραφίας θώρακος. Η μέθοδος επιτρέπει την εκτίμηση της σύστασης του σώματος συνολικά αλλά και κατά περιοχές και κατά συνέπεια είναι ιδανική για την εκτίμηση της κοιλιακής παχυσαρκίας [13, 14]. Στα παχύσαρκα άτομα η μέθοδος DEXA παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Κατά πρώτο λόγο η επιφάνεια σάρωσης της μεθόδου είναι σχετικά μικρή (200 cm x 60 cm) και συνεπώς ανεπαρκής για άτομα με νοσογόνο παχυσαρκία [11]. Άλλο μειονέκτημα είναι η επίδραση του πάχους των γύρω ιστών στην εκτίμηση της λιπώδους μάζας. Επίσης, σ' ότι αφορά το ενδοκοιλιακό λίπος, η μέθοδος DEXA δεν μπορεί να διαφοροποιήσει το υποδόριο από το ενδοσπλαχνικό λίπος ούτε να υπολογίσει την συνολική επιφάνειά του σε αντίθεση με την αξονική ή μαγνητική τομογραφία. Τέλος, το κόστος της εξέτασης είναι σχετικά υψηλό και δεν επιτρέπει την συχνή κλινική εφαρμογή της.

Η επαναληψιμότητά της είναι πάρα πολύ καλή και ανέρχεται σε 0,85% για την οστική μάζα, 1,73% για τη λιπώδη, 1,26% για την συνολική πυκνότητα, 2,0% για το σωματικό βάρος και 3% για την εκτίμηση του ενδοκοιλιακού λίπους. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα η εξέταση είναι κατάλληλη για να υπολογίζει αλλαγές της σύστασης όπως αυτές συμβαίνουν κατά την απώλεια του βάρους [15]. Η μέθοδος DEXA έχει συγκριθεί και παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση με τις παλαιότερες μεθόδους αναφοράς όπως είναι η υδροπυκνομετρία [16].

Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος DEXA αποτελεί τη σύγχρονη μέθοδο αναφοράς για την εκτίμηση της σύστασης του σώματος του παχύσαρκου ατόμου πριν και κατά την απώλεια βάρους και είναι αυτή που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των άλλων μεθόδων [17, 18].

Η αξονική τομογραφία (Computed tomography)

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης της αξονικής τομογραφίας (AT) για την ανάλυση της σύστασης του σώματος αναφέρθηκε για πρώτη φορά από το Hounsfield το 1973 [19]. Για τη διερεύνηση της παχυσαρκίας η μέθοδος εφαρμόζεται από το 1983 και συνεισέφερε σημαντικά στην κατανόηση της συσχέτισης μεταξύ σπλαχνικής συσσώρευσης λιπώδους ιστού και καρδιαγγειακών νοσημάτων [20]. Προσεγγίζει σχεδόν ανατομικά την επιμέρους σύσταση του σώματος και παρέχει ικανότητα διάκρισης κατά ιστούς, όργανα και περιοχές. Η σάρωση του τομογράφου σε συγκεκριμένες περιοχές δίνει πληροφορίες για τον μυϊκό και λιπώδη ιστό. Από το άθροισμα των επαναλαμβανόμενων τομών μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος και η επιφάνεια των επιμέρους οργάνων και τα δεδομένα να αποθηκευτούν σε λογισμικό υπολογιστή (Slice Omatic, Tomovision, Montreal, CD) [3]. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερα τα πιο εξελιγμένα μηχανήματα όπως είναι αυτό της ελικοειδούς αξονικής τομογραφίας (Spiral or helical computed tomography, Somatom Plus της Siemens), το οποίο υπάρχει και χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα, δύναται να διακρίνουν επακριβώς το υποδόριο από το ενδοσπλαχνικό κοιλιακό λίπος [21]. Ο διαχωρισμός των ιστών γίνεται σύμφωνα με την καταγραφή του ποσοστού απορρόφησης των εκπεμπόμενων ακτινών Χ. Μπορεί να ληφθούν λεπτές τομές της τάξης του 1 cm με αποτέλεσμα να πετυχαίνεται ακρίβεια κάτω από 1% για το σωματικό λίπος. Για την εκτίμηση του συνολικού κοιλιακού λίπους, διενεργούνται 4 συνεχείς τομές αρχίζοντας από τον 3ο οσφυϊκό σπόνδυλο. Όμως λόγω του υψηλού βαθμού ακτινοβολίας, η οποία είναι της τάξης των 10 mSv [22], οι περισσότεροι εξεταστές σήμερα προτιμούν τη διενέργεια μόνο μιας τομής στο ύψος Ο4 ή Ο5, στο επίπεδο δηλαδή που απεικονίζεται κυρίως το σπλαχνικό ενδοκοιλιακό λίπος. Συγκρίσεις με χημικές αναλύσεις σε πώματα έδειξαν ισχυρή συσχέτιση (συντελεστή διακύμανσης 0,9%) σ' ότι αφορά το ποσοστό του λιπώδους ιστού [11].

Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση τη διερεύνηση της σύστασης του σώματος και της κατανομής του σωματικού λίπους και αποτελεί πλέον μέθοδο αναφοράς. Η αξονική τομογραφία δεν χρησιμοποιείται όμως στην καθημερινή κλινική πράξη λόγω της υψηλής δόσης ακτινοβολίας και του υψηλού κόστους [10].

Μαγνητική τομογραφία (MT), (Magnetic resonance imaging - MRI)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία βελτιωμένη εναλλακτική λύση της AT και επιπλέον το άτομο δεν ακτινοβολείται. Ο αναγκαίος χρόνος εξέτασης όμως είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της AT. Η εξέταση καταγράφει τον όγκο του λιπώδη ιστού σε σχέση με τους άλλους ιστούς ανάλογα με το χρόνο ηρεμίας (relaxation time). Σε αδρές γραμμές, ο χρόνος ηρεμίας είναι ο χρόνος που απαιτείται για να επανέλθει το 63% των διηγευμέ-

νων από το μαγνητικό πεδίο πρωτονίων στην πρωταρχική τους κατάσταση. Όταν το μαγνητικό πεδίο εφαρμοστεί κατά τον x-ψ άξονα το σήμα που λαμβάνουμε ονομάζεται T1 (T1 relaxation time ή spin-lattice relaxation time), ενώ εάν το μαγνητικό πεδίο εφαρμοστεί κατά τον z άξονα ομιλούμε για την T2 ακολουθία (T2 relaxation time ή spin-spin relaxation time). Οι χρόνοι T1 και T2 είναι διαφορετικοί στους διαφόρους ιστούς (ο T2 είναι σχεδόν πάντα 10 φορές μικρότερος από τον T1), εξαρτώμενοι απόλυτα από το ποσοστό του νερού των ιστών [23, 24]. Ο χρόνος ηρεμίας στο λιπώδη ιστό, ο οποίος είναι φτωχός σε νερό, είναι μικρότερος από το χρόνο ηρεμίας όλων των άλλων ιστών και γι αυτό διακρίνεται εύκολα στην MRI [3, 25]. Η MT αποτελεί ιδανική εξέταση για την ακριβή εκτίμηση λιπώδους και άλιπης μάζας και την παρακολούθηση της απώλειας ιστών στα παχύσαρκα άτομα σε διαφορετικές περιοχές του σώματος [26]. Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να διακρίνει και να εκτιμήσει το λιπώδη ιστό ακόμη και σε δύσκολα σημεία όπως π.χ. το λίπος γύρω και μέσα στους μύες, το οποίο φαίνεται ότι σχετίζεται ισχυρά με την ινσουλινοαντίσταση και τις μεταβολικές επιπλοκές της παχυσαρκίας και του σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 [27]. Ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα διάκρισης που προσφέρει η MT μεταξύ υποδορίου και σπλαχνικού λιπώδους ιστού και έχουν αναπτυχθεί εξισώσεις υπολογισμού των επιφανειών αυτών οι οποίες λαμβάνουν υπόψη και τις ανθρωπομετρικές μετρήσεις [10]. Οι εξισώσεις αυτές συνεισφέρουν στην πρόβλεψη της μέσης ποσότητας του σπλαχνικού λίπους για μια δεδομένη πληθυσμιακή ομάδα, όμως έχουν μειωμένη ευαισθησία όταν εφαρμόζονται σε ατομικό επίπεδο.

Η MT, σε σχέση με την AT, παρέχει μικρότερη ακρίβεια σε ότι αφορά την εκτίμηση και διάκριση του σπλαχνικού λίπους. Επίσης η διάρκεια εξέτασης είναι πολύ μικρότερη στην AT. Σε κάθε περίπτωση και οι δύο αυτές μέθοδοι εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς τις παλαιότερες τεχνικές και συμβάλλουν στην κατανόηση της σύστασης του σώματος, όχι μό-

νο ανατομικά αλλά και λειτουργικά [2, 10].

Στον Πίνακα 2 φαίνονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τεχνικών που προαναφέρθηκαν.

Η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων Positron emission tomography-PET

Η εφαρμογή της PET βοήθησε σημαντικά στη διερεύνηση του φαιού λιπώδη ιστού (ΦΛΙ), ενός ιστού με έντονη μεταβολική και θερμογενετική δραστηριότητα, ο οποίος μέχρι πρόσφατα πιστευόταν ότι απαντάται σε αρκετή ποσότητα μόνο στα ζώα –κυρίως ποντίκια– αλλά όχι στον άνθρωπο [28]. Πρόσφατες μελέτες σε ενήλικα άτομα έδειξαν την παρουσία σημαντικής ποσότητας ΦΛΙ στην υπερκλείδια και την τραχηλική χώρα ενώ μικρότερες ποσότητες ανευρέθηκαν παρασπονδυλικά, παρα-αορτικά, στο μεσοθωράκιο και πάνω από τους νεφρούς. Υπολογίζεται ότι ο ΦΛΙ αποτελεί περίπου το 1/10 του ολικού λιπώδους ιστού [29]. Ασθενείς με φαιοχρωμοκύττωμα παρουσιάζουν αυξημένη πρόσληψη ραδιενεργού φθοριωμένης d-γλυκόζης [¹⁸F- fluorodeoxyglucose (¹⁸F-FDG)] λόγω του αυξημένου ΦΛΙ [30]. Η φθοριωμένη γλυκόζη αποτελεί ένα ανάλογο της γλυκόζης και είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο σύμπλοκο στην Ποζιτρονιακή απεικόνιση. Το ισότοπο που χρησιμοποιείται στη σήμανση του μορίου της γλυκόζης είναι το φθόριο-18 (¹⁸F), που εκπέμπει ποζιτρόνια και έχει χρόνο ημίσειας ζωής περίπου 2 ώρες (110 λεπτά). Μετά την ενδοφλέβια χορήγησή του, το ραδιοφάρμακο κατανέμεται στους ιστούς του σώματος, με μεγαλύτερη συγκέντρωση στο όργανο που χρησιμοποιεί αποκλειστικά γλυκόζη (εγκέφαλος), καθώς στα μέρη όπου υπάρχει μεγαλύτερος μεταβολισμός, όπως οι όγκοι, φλεγμονές, και το φαιό λίπος [31].

Η διαπίστωση της παρουσίας του ΦΛΙ στον άνθρωπο χάρη στην PET αναμένεται να προσδιορίζει την θεραπευτική αγωγή στην παχυσαρκία, μέσω της χορήγησης φαρμάκων που διεγείρουν τους υποδοχείς του υπερδραστήριου αυτού ιστού.

Πίνακας 2. Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων ανάλυσης σύστασης σώματος στην παχυσαρκία.

Τεχνικές εκτίμησης δύο συστατικών σώματος		
Μέθοδος	Πλεονεκτήματα εξέτασης	Μειονεκτήματα εξέτασης
Ανθρωπομετρία	Εύχρηστη, φθηνή	Υποκειμενικός παράγων, πτωχή εκτίμηση αλλαγών ΟΣΛ*, AM**
Βιοηλεκτρική αντίσταση ιστών	Εύκολη, σχετικά φθηνή	Πτωχή εκτίμηση αλλαγών ΟΣΛ*, AM** όχι πολλές μελέτες σε παχύσαρκους
Υδροπυκνομετρία	Φθηνή, γρήγορη, ακριβής	Δυσχερής σε παχύσαρκους
Αεροπυκνομετρία	Ευρύ φάσμα ηλικιών, ακριβής	Όγκος συσκευής
Ολοσωματικό νερό	Μη αναγκαία συνεργασία, ακριβής	Υψηλό κόστος, ακτινοβολία
Ολοσωματικό Κ	Ακριβής εκτίμηση άλιπης μάζας	Υψηλό κόστος
Τεχνικές εκτίμησης πολλών συστατικών σώματος		
Μέθοδος	Πλεονεκτήματα εξέτασης	Μειονεκτήματα εξέτασης
DEXA	Εκτίμηση μυϊκού ιστού, οστίτιου ιστού, λίπους και κατανομής του	Σχετικά υψηλό κόστος
Αξονική τομογραφία	Εκτίμηση διαφόρων ιστών και κατανομής λίπους	Υψηλό κόστος, ακτινοβολία
Μαγνητική τομογραφία	Εκτίμηση μεγέθους οργάνων, ακρίβεια μετρήσεων, κατανομή λίπους	Υψηλό κόστος, Μεγάλη διάρκεια εξέτασης

*ΟΣΛ: Ολοσωματικό λίπος, **AM: Άλιπη μάζα

Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η PET συνέβαλλε σημαντικά στην κατανόηση των μηχανισμών της ινσουλινοαντίστασης στο λιπώδη ιστό και στους σκελετικούς μύες σε ασθενείς με κοιλιακού τύπου παχυσαρκία και σακχαρώδη διαβήτη τύπου 2 [32, 33].

Μέθοδοι εκτίμησης δυο διαμερισμάτων

Η υδροπυκνομετρία

(Hydrodensitometry or Underwater weighing)

Η μέθοδος αυτή προτάθηκε το 1942, βασίζεται στην αρχή του Αρχιμήδη και στηρίζεται στο γεγονός ότι η λιπώδης μάζα είναι λιγότερο πυκνή από την άλιπη, και συγκεκριμένα 0,9 kg/Lt. και 1,1 kg/Lt. αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, όσο περισσότερο λιπώδη ιστό έχει ένα άτομο, τόσο ελαφρύτερα ζυγίζει όταν βυθισθεί στο νερό [11]. Οι συνθήκες χρησιμοποιούμενες τεχνικές υδροπυκνομετρίας εφαρμόζουν την εμβύθιση του ατόμου στο νερό. Το άτομο ζυγίζεται αρχικά σε συμβατική ζυγαριά και στη συνέχεια σε ειδικό ζυγό εμβυθιζόμενο εξ ολοκλήρου στο νερό. Η διαφορά μεταξύ των δύο βαρών ή ο όγκος του εξερκομένου νερού, χρησιμοποιείται για να υπολογισθεί το ολικό σωματικό λίπος.

Η μέθοδος έχει πολύ καλή επαναληψιμότητα και θεωρείται ακόμη και σήμερα μέθοδος αναφοράς για την εκτίμηση του λιπώδους ιστού. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου, ανήκει η δυσκολία με την οποία ορισμένοι ασθενείς, ιδίως παχύσαρκοι και τα τρίτης ηλικίας άτομα, υπομένουν την πλήρη εμβύθιση τους στο νερό.

Η αεροπυκνομετρία

(Air- displacement plethysmography)

Βασίζεται στην ίδια αρχή με την υδροπυκνομετρία, μόνο που εδώ εκτιμάται η μεταβολή της πίεσης του αέρα που προκαλείται από το σώμα όταν αυτό τοποθετηθεί σε μια αεροστεγή συσκευή (πλυσθμογράφος εκτόπισης αέρα, BOD-POD® system) [10]. Η μέθοδος εφαρμόζεται από το 1995 είναι ασφαλής, γρήγορη, ακριβής και ενδείκνυται για όλες τις ηλικίες ακόμη και για παιδιά. Οι περισσότερες μελέτες δείχνουν πολύ καλή συσχέτιση της μεθόδου ως προς τις μεθόδους αναφοράς για τη εκτίμηση του σωματικού λίπους και ο συντελεστής διακύμανσης, (coefficient of variation) είναι της τάξης του 1%-2% [8, 34]. Είναι κατάλληλη για την ανίχνευση μεταβολών της σύστασης σώματος κατά την απώλεια βάρους αν και υπερεκτιμά ελαφρώς τις μεταβολές του σωματικού λίπους, ιδίως σε καταστάσεις με υψηλό ποσοστό ενυδάτωσης [35]. Η μέθοδος έχει εφαρμοσθεί και σε άτομα με νοσογόνο παχυσαρκία πριν και μετά από βαριατρική χειρουργική επέμβαση με ικανοποιητικά αποτελέσματα [36]. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί ο μεγάλος όγκος της χρησιμοποιούμενης συσκευής και το υψηλό κόστος της εξέτασης.

Η μέτρηση του ολοσωματικού νερού

(Total body water)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ραδιοϊσότοπα τα οποία διαλύονται σ' όλο τον όγκο νερού του ατόμου, μετρούν το ολοσωματικό νερό. Στην συνέχεια εκτιμάται η άλιπη μάζα, λαμβάνο-

ντας υπ' όψη ότι το 73% αυτής αποτελείται από νερό ($AM = OY/0,73$) ενώ το συνολικό λίπος υπολογίζεται από τη διαφορά της άλιπης μάζας από το σωματικό βάρος ($LI = \Sigma B - AM$). Στην πράξη, χορηγείται per os ή ενδοφλεβίως στο υπό εξέταση άτομο καθορισμένη ποσότητα νερού που περιέχει σταθερά ραδιοϊσότοπα (τρίτιο, δευτέριο ή οξυγόνο-18) και συλλέγονται δύο δείγματα σωματικών υγρών (αίμα, ούρα ή σάλιο), το πρώτο πριν την εξέταση και το δεύτερο μετά από διάστημα ισορροπίας 2-3 ωρών [11]. Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος ανάλυσης εξαρτάται από την επιλογή του ραδιοϊσοτόπου. Χρησιμοποιείται μετρητής β ακτινοβολίας για τα τρίτιο, φασματογραφία για το O^{18} και χρωματογραφία αερίων για το δευτέριο [10]. Ο υπολογισμός του όγκου του ολοσωματικού νερού βασίζεται στην απλή εξίσωση $C_1V_1 = C_2V_2$, όπου C_1V_1 είναι η ποσότητα του χορηγηθέντος ραδιοϊσοτόπου, C_2 η τελική συγκέντρωση του ισότοπου σε ένα βιολογικό υγρό και V_2 ο όγκος του ολοσωματικού νερού [37].

Η ποσότητα του χορηγούμενου ραδιοϊσοτόπου εξαρτάται από το είδος του, το σύστημα ανάλυσης και το σκοπό της μέτρησης. Σε γενικές γραμμές για λόγους ασφαλείας χορηγείται η μικρότερη δόση που επιτρέπει ικανοποιητική ακρίβεια. Για παράδειγμα χορηγείται οξείδιο του δευτερίου σε δόση 1gr/kg σωματικού βάρους ή τρίτιο σε δόση 50μCi [37].

Η ακρίβεια της μεθόδου είναι πολύ καλή και έχει συντελεστή διακύμανσης 1% - 2% [8]. Σε καταστάσεις όμως με υψηλό ποσοστό ενυδάτωσης της άλιπης μάζας όπως στην παχυσαρκία και σε οιδήματα, η ποσότητα της λιπώδους μάζας υποτιμάται [11, 37].

Η μέτρηση του ολοσωματικού καλίου

(Total body potassium)

Το κάλιο είναι ένα ενδοκυττάριο ιόν, το οποίο βρίσκεται αποκλειστικά στην άλιπη μάζα. Η μέτρηση της συγκέντρωσης του ολοσωματικού καλίου με τη βοήθεια ραδιοσημασμένου K , του καλίου-40, δίνει την δυνατότητα υπολογισμού της άλιπης μάζας.

Ο συντελεστής διακύμανσης της μεθόδου είναι 2% - 3%. Οι περιορισμοί της μεθόδου οφείλονται στο γεγονός ότι κάλιο υπάρχει σε μεγαλύτερες ποσότητες στους μύες απ' ότι στους άλλους ιστούς της άλιπης μάζας και στο ότι η συγκέντρωση του αλλάζει με την πάροδο της ηλικίας. Ιδιαίτερα στους παχύσαρκους έχει βρεθεί ότι η συγκέντρωση του K είναι μικρότερη απ' ότι στα φυσιολογικού βάρους άτομα. Επίσης, κατά την αρχική φάση απώλειας βάρους χάνονται αναλογικά μεγάλες ποσότητες καλίου [11, 37].

Η βιοηλεκτρική αντίσταση των ιστών

(BAI, Bioelectrical impedance analysis)

Η αρχή της μεθόδου στηρίζεται στο γεγονός ότι το σωματικό λίπος είναι κακός αγωγός σε εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό ρεύμα ενώ η άλιπη μάζα με το νερό και τους ηλεκτρολύτες, καλός αγωγός [11]. Στην πράξη, ένα χαμηλής ενέργειας ηλεκτρικό ρεύμα συνήθως 500 μΑ και συχνότητας 5 kHz διοχετεύεται, μέσω καλωδίων που έχουν τοποθετηθεί στα άνω και κάτω άκρα, σε ολόκληρο το σώμα και μετρά την συνολική αντίσταση των ιστών, ανάλογα με την ευκολία διέλευσης από το ολο-

σωματικό νερό. Ένα υψηλής συχνότητας ρεύμα (>50 kHz) μπορεί να υπερκαλύπτει την αντίσταση των κυτταρικών μεμβρανών με αποτέλεσμα να παρέχεται η δυνατότητα εκτίμησης του ενδοκυτταρίου νερού χωριστά. Τα περισσότερα μηχανήματα χρησιμοποιούν ρεύματα 2 τουλάχιστον συχνοτήτων ώστε να εκτιμάται το σύνολο του σωματικού νερού, δηλαδή το ενδοκυττάριο και το εξωκυττάριο. Οι εφαρμοζόμενες συχνότητες ποικίλλουν συνήθως από 5 kHz έως 200 kHz. Σε κάθε περίπτωση, θεωρούμε δεδομένο ότι η ποσότητα νερού αποτελεί το 73% της άλιπης μάζας, η οποία και προσδιορίζεται έμμεσα. Η διαφορά της άλιπης μάζας από το σωματικό βάρος μας δίνει το σωματικό λίπος [38].

Η μέθοδος BAI είναι φθηνή, εύχρηστη –για φορητές συσκευές–, δεν ακτινοβολεί το άτομο και χρησιμοποιείται ήδη ευρέως με καλά αποτελέσματα. Η ακρίβεια της ανάλυσης εξαρτάται από τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των συστατικών του σώματος. Δυστυχώς, οι διάφορες εξισώσεις δεν έχουν συμπεριλάβει πολλά παχύσαρκα άτομα. Φαίνεται ότι στα άτομα αυτά, ιδίως όταν ο ΔΜΣ ξεπερνάει το 40, υπερεκτιμάται το σωματικό νερό και τη μυϊκή μάζα ενώ υποτιμάται το ποσοστό λίπους [38]. Η διακύμανση των τιμών στο ίδιο άτομο φθάνει μέχρι και 3% - 4%. Κατά συνέπεια, σε ατομικό επίπεδο αλλαγές βάρους της τάξης των 1,5-2 kg δεν είναι δυνατόν να επιστημονηθούν. Επίσης, κατά την αρχική απώλεια βάρους, λόγω της μεγάλης απώλειας υγρών είναι δυνατόν να προσμετρηθεί κάποιου βαθμού πλασματική αύξηση του λίπους. Η μέθοδος έχει καλή συσχέτιση με τη μέθοδο του αθροίσματος των δερματικών πτυχών. Οι συσκευές BAI που χρησιμοποιούν ρεύματα μίας συχνότητας, δεν εκτιμούν το ενδοκυττάριο νερό και έχουν περιορισμούς στην εφαρμογή τους στα παχύσαρκα άτομα [39]. Σε πρόσφατες κατευθυντήριες οδηγίες για την εκτίμηση της σύστασης του σώματος με τη μέθοδο BAI, συστήνεται η εφαρμογή της ακόμη και σε μακροχρόνια παρακολούθηση, όμως μόνο σε άτομα με δείκτη μάζας σώματος εύρους 16-34 kg/m² που δεν παρουσιάζουν διαταραχές νερού και ηλεκτρολυτών [40].

Τα τελευταία χρόνια κυκλοφορεί ευρέως ένας ζυγός εκτίμησης του σωματικού λίπους με τη μέθοδο BAI στον οποίον το ρεύμα διοχετεύεται μεταξύ των 2 κάτω άκρων (leg-to-leg analysis). Πρόκειται για μια απλή και φιλική στη χρήση συσκευή «μπάνιου» (Tanita® Corp.), η οποία δίνει τη δυνατότητα ταχείας αλλά αδρής εκτίμησης του σωματικού λίπους [41]. Σε δική μας μελέτη, συγκρίναμε την εκτίμηση του ποσοστού σωματικού λίπους σε υπέρβαρες, παχύσαρκες και φυσιολογικού βάρους γυναίκες με το ζυγό τύπου Tanita® και με τη μέθοδο της διπλής ενεργειακής απορρόφησης ακτίνων Χ (DEXA) [42]. Διαπιστώσαμε πολύ καλή συσχέτιση των δύο μεθόδων σε γυναίκες φυσιολογικού βάρους και υπέρβαρες, όχι όμως και σε παχύσαρκες. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι ο ζυγός Tanita® συγκρινόμενος με μεθόδους αναφοράς όπως η υδροπυκνομετρία μπορεί να δώσει ικανοποιητικές πληροφορίες για την απώλεια της λιπώδους και της άλιπης μάζας σε άτομα υπέρβαρα και με μέτρια παχυσαρκία, αν και τείνει να υποτιμά την ποσοστιαία απώλεια σωματικού λίπους [43, 44]. Τα μέχρι σήμερα υπάρχοντα δεδομένα δείχνουν ότι ο ζυγός Tanita® αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση του σωματικού λίπους σε με-

γάλες πληθυσμιακές ομάδες, όμως η αξιοπιστία του σε ατομικό επίπεδο είναι ακόμη υπό έρευνα [45].

Μία εξελιγμένη τεχνική BAI είναι η διανυσματική BAI ανάλυση (BIA vector analysis), η οποία εκτιμά άμεσα την ολοσωματική αντίσταση και δεν εξαρτάται από εξισώσεις [46]. Η τεχνική αυτή συνδυάζει την εκτίμηση της απλής αντίστασης (resistance, R) των υγρών σε ένα εναλλασσόμενο ρεύμα και της χωρητικής αντίστασης (reactance, X c) που προκαλείται από τις κυτταρικές μεμβράνες και τους ιστούς. Αποτελεί ιδανική μέθοδο για τη διάκριση του αυξημένου σωματικού βάρους λόγω λίπους ή υγρών. Άλλες χρησιμοποιούμενες τεχνικές είναι η βιοηλεκτρική φασματοσκόπηση (bioelectrical spectroscopy) και η τμηματική-BAI (segmental-BIA) κατά την οποία τοποθετούνται επιπλέον ηλεκτρόδια με σκοπό τον λεπτομερέστερο καθορισμό της σύστασης σε συγκεκριμένα σημεία του σώματος [38].

Μια εναλλακτική μέθοδος της BAI είναι η μέθοδος της ολοσωματικής αγωγιμότητας με την πρόκληση ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (Total body electrical conductivity, TOBEC) [10]. Οι μετρήσεις αυτές δεν επηρεάζονται από το επίπεδο ενυδάτωσης του οργανισμού, το κόστος της εξέτασής τους όμως είναι ιδιαίτερα υψηλό.

Οι ανθρωπομετρικές μέθοδοι (Anthropometry)

1) Δείκτης μάζας σώματος (ΔΜΣ, body mass index).

Ο ΔΜΣ αποτελεί το πηλίκο του σωματικού βάρους σε κιλά δια το ύψος στο τετράγωνο [$\Delta\text{ΜΣ} = \Sigma\text{B}(\text{kg}) / \text{Υ}^2(\text{m}^2)$]. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας άτομα με ΔΜΣ μεταξύ 25 και 29,9 χαρακτηρίζονται ως υπέρβαρα, με ΔΜΣ άνω του 30 ως παχύσαρκα και με ΔΜΣ άνω του 40 ως υπερβολικά ή νοσογόνα παχύσαρκα [47]. Ο ΔΜΣ χρησιμοποιείται ευρέως διότι η εκθετική του καμπύλη σχετίζεται με τις μεταβολικές και μηχανικές επιπλοκές της παχυσαρκίας και με την ολική θνησιμότητα.

Στις περισσότερες μελέτες καταγράφεται μία ισχυρή συσχέτιση μεταξύ ΔΜΣ και ΟΣΛ όταν ληφθούν υπ' όψη το φύλο και η ηλικία [5]. Στην παχυσαρκία η εκτίμηση του ΟΣΛ από το ΔΜΣ ενέχει κίνδυνο λάθους 4%-6% διότι ο δείκτης αυτός δε λαμβάνει υπόψη του καταστάσεις όπως το οίδημα, τη μυϊκή υπερτροφία κ.α. [48]. Επίσης, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της παχυσαρκίας σε άτομα άνω των 65 ετών. Υπάρχουν εξισώσεις από τις οποίες μπορεί κάποιος να υπολογίσει από το ΔΜΣ το ποσοστό του σωματικού λίπους σε συνάρτηση με την ηλικία και το φύλο [6]. Τις περισσότερες φορές το όριο των 30 kg/m² αντιστοιχεί σε ποσοστό λιπώδους ιστού άνω του 30% στις γυναίκες και άνω του 20% στους άνδρες, δηλαδή σε επίπεδα παχυσαρκίας.

2) Περίμετροι σώματος (Circumferences).

Αποτελούν απλές και εύκολες μετρήσεις για την εκτίμηση της κατανομής του σωματικού λίπους [6].

Η *περίμετρος της μέσης*, ΠΜ (Waist circumference) αντανακλά με ακρίβεια το ενδοκοιλιακό λίπος και σχετίζεται ισχυρά με τους μεταβολικούς παράγοντες καρδιαγγειακού κινδύνου (ΚΑΚ). Άνδρες με ΠΜ>102 cm και γυναίκες με ΠΜ>88 cm παρουσιάζουν πολύ αυξημένο ΚΑΚ ενώ άνδρες με ΠΜ>94

cm και γυναίκες με ΠΜ>80 cm, παρουσιάζουν αυξημένο ΚΑΚ [49]. Τα όρια των 102 cm στους άνδρες και 88 cm στις γυναίκες είναι αυτά που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα για τον καθορισμό του μεταβολικού συνδρόμου [50].

Η ΠΜ μετράται στο μέσον της απόστασης μεταξύ της τελευταίας πλευράς και της λαγόνιας ακρολοφίας. Η μέτρηση της πρέπει να είναι εξέταση ρουτίνας σε κάθε παχύσαρκο άτομο πριν και κατά την απώλεια βάρους. Όταν ο ΔΜΣ είναι πάνω από 35, η συσχέτιση της ΠΜ με τους αγγειακούς παράγοντες κινδύνου γίνεται ασθενέστερη [51].

Ο λόγος *περιμέτρων μέσης/ισχίων*, ΠΜΙ (Waist to hip ratio). Η αύξηση του άνω του 1,00 σε άνδρες και άνω του 0,85 σε γυναίκες, υποδηλώνουν ανδρικού τύπου παχυσαρκία [47]. Η μέτρηση της περιμέτρου ισχίων πρέπει να γίνεται στο ύψος των μεγάλων τροχαντήρων στο πιο προεξέχον σημείο των γλουτών. Η σημασία της ΠΜΙ είναι μικρότερη από αυτήν της ΠΜ διότι επηρεάζεται από το μέγεθος της λεκάνης και τα μαλακά μόρια [11].

Η *κάθετη διάμετρος της κοιλίας*, ΚΔΚ (Sagittal abdominal diameter, SAD), συσχετίζεται ισχυρά με το σπλαχνικό κοιλιακό λίπος και τον ΚΑΚ και γι' αυτό χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο. Μετράται στο ύψος της λαγόνιας ακρολοφίας, με το άτομο σε ύπια θέση, και πρόκειται για την απόσταση μεταξύ της εξεταστικής κλίνης και του υψηλότερου σημείου της κοιλίας [52]. Η προσθιοπίσθια διάμετρος της κοιλίας (ΠΔΚ) στο ύψος του ομφαλού, με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου μαθηματικού τύπου, μπορεί να προσδιορίσει το ενδοκοιλιακό λίπος, ο προσδιορισμός δε αυτός είναι παραπλήσιος του ενδοκοιλιακού λίπους προσδιορισμένου με την αξονική τομογραφία [53].

3) Δερματικές πτυχές (Skin fold thicknesses)

Η μεγαλύτερη ποσότητα του αποθηκευμένου λίπους του σώματος βρίσκεται κάτω από το δέρμα και κατά συνέπεια το πάχος της πτυχής του δέρματος σε ορισμένα οδηγία σημεία του σώματος δίνει μία καλή εικόνα του συνολικού υποδόριου λίπους [11]. Η μέτρηση του υποδόριου λίπους γίνεται με ειδικά δερματοπτυχόμετρα τα οποία ασκούν μία σταθερή πίεση στις υπό μελέτη επιφάνειες. Τα συνηθέστερα σημεία στα οποία προσδιορίζεται το πάχος της πτυχής είναι: οι περιοχές του τρικεφάλου, του δικεφάλου μύος, της ωμοπλάτης και των άνω λαγονίων οστών. Η πτυχή δέρματος στην περιοχή του τρικεφάλου μετράται στο μέσο της απόστασης μεταξύ ακρωμίου και ωλεκράνου στην οπίσθια επιφάνεια του βραχίονα, η πτυχή στην περιοχή του δικεφάλου στο ίδιο επίπεδο αλλά στην πρόσθια επιφάνεια του βραχίονα, η πτυχή στην περιοχή της ωμοπλάτης κάτω από την κάτω γωνία της ωμοπλάτης και η πτυχή της περιοχής των άνω λαγονίων οστών στο σημείο της συνάντησης της άνω λαγόνιας άκανθας και της μεσομασχαλιαίας γραμμής. Από το άθροισμα των 4 πτυχών, μπορεί στη συνέχεια να υπολογισθεί το συνολικό επί τοις εκατό λίπος ανά ηλικία και φύλο σύμφωνα με κάποιες εξισώσεις από τις οποίες οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες είναι αυτές των Durnin και Womersley [54] και των Jackson και Pollock [55, 56]. Η μέτρηση των πτυχών θεωρεί ως δεδομένο αφενός μεν ότι το πάχος του υποδόριου λίπους αντανακλά επακριβώς το ολοσωματικό λίπος αφετέρου δε ότι οι επιλεγείσες περιοχές μέτρησης

δίδουν την ακριβή εικόνα του μέσου πάχους του υποδόριου λίπους του σώματος.

Η μέτρηση των δερματοπτυκών απαιτεί κάποια επιδεξιότητα και εμπειρία. Είναι καλύτερα να λαμβάνεται υπόψη ο μέσος όρος 3 διαδοχικών μετρήσεων για κάθε δερματική πτυχή. Εφόσον αυτή γίνεται από εκπαιδευμένο εξεταστή, τα αποτελέσματα είναι σχετικά συγκρίσιμα με άλλες μεθόδους αναφοράς και η διακύμανση είναι 3%-5%. Υπάρχει όμως μικρή επαναληψιμότητα της μεθόδου εφ' όσον πρόκειται για διαφορετικούς εξεταστές. Η μέτρηση των δερματοπτυκών υστερεί επίσης στην ακριβή εκτίμηση της απώλειας του σωματικού λίπους [37]. Στα πολύ παχύσαρκα άτομα ιδιαίτερα, η μέθοδος έχει αρκετούς περιορισμούς: Οι δερματικές πτυχές τους είναι συχνά πολύ παχιές για να χωρέσουν στο διαμέτρημα του πτυχομέτρου, η παρουσία οιδήματος επηρεάζει την ακριβή μέτρηση ενώ είναι δύσκολη η επακριβής ταυτοποίηση του σωστού ανατομικού σημείου. Στα άτομα αυτά συνήθως υποτιμάται η ποσότητα του σωματικού λίπους [37].

Παρόλα τα μειονεκτήματά τους οι δερματοπτυκές αποτελούν μία απλή και εύχρηστη έμμεση μέθοδο εκτίμησης του ΟΣΛ, ιδανική για επιδημιολογικές, πληθυσμιακές μελέτες αλλά και για εκτίμηση στην καθημερινή πρακτική, ιδιαίτερα στα παιδιά [11, 15].

Άμεσοι μέθοδοι

Σ' αυτές υπάγονται η ανάλυση πτωμάτων και η μέθοδος ενεργοποίησης ουδετερονίων. Είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες και πολύπλοκες αλλά, ως άμεσοι μέθοδοι, παρέχουν μεγάλη ακρίβεια και αποτελούν μεθόδους αναφοράς [10]. Η ενεργοποίηση ουδετερονίων αποτελεί σχετικά πρόσφατη, πολυδιαμερισματική μέθοδο η οποία επιτρέπει την ακριβή ανάλυση των επιμέρους στοιχείων του σώματος δηλαδή των Ca, Na, Cl, P και N [37]. Η χρησιμοποιούμενη συσκευή είναι τεραστίων διαστάσεων και γι αυτό η μέθοδος εφαρμόζεται μόνο σε ελάχιστα κέντρα στον κόσμο. Σοβαρό μειονέκτημα είναι και η έκθεση του εξεταζόμενου σε μεγάλη δόση ακτινοβολίας η οποία μπορεί να φθάσει τα 10 - 20 mSv [11].

Συμπεράσματα

Οι διάφορες μέθοδοι εκτίμησης της σύστασης του σώματος έχουν κυρίως εφαρμογή σε επιδημιολογικές και εργαστηριακές μελέτες που αφορούν την παχυσαρκία αλλά χρησιμοποιούνται επίσης και στην κλινική εκτίμηση της παχυσαρκίας στην καθημερινή ιατρική πράξη. Οι επίπονες τεχνικές εκτίμησης δύο συστατικών του σώματος όπως οι ραδιοϊσοτοπικές και η υδροπυκνομετρία παρέχουν τη μεγαλύτερη ακρίβεια για την εκτίμηση του ολοσωματικού λίπους σε επιδημιολογικό και ερευνητικό επίπεδο. Οι σύγχρονες απεικονιστικές μέθοδοι εκτίμησης πολλών συστατικών όπως η αξονική και μαγνητική τομογραφία προσφέρουν τη δυνατότητα λεπτομερούς υπολογισμού της ποσότητας του σωματικού λίπους και της κατανομής του, έχουν όμως ιδιαίτερα υψηλό κόστος. Η μέθοδος DEXA φαίνεται ότι αποτελεί πλέον μέθοδο εκλογής για την εκτίμηση της παχυσαρκίας. Δίνει λεπτομερή στοιχεία για την κατανομή και το

βάρος του λιπώδους αλλά και του μυϊκού ιστού στα διάφορα επιμέρους σημεία του σώματος και αυτό πριν και κατά την απώλεια σωματικού βάρους. Οι ανθρωπομετρικές μέθοδοι (δείκτης μάζας σώματος και περίμετρος της μέσης) πρέπει να εκτιμώνται συστηματικά σε όλα τα παχύσαρκα άτομα ηλικίας 18 έως 65 χρονών. Οι τεχνικές αντίστασης των ιστών, αν και εκτιμούν έμμεσα –μέσω του νερού– το λιπώδη ιστό, έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης εκτέλεσης, της σχετικά καλής επαναληψιμότητας και του χαμηλού κόστους. Σε τελική ανάλυση οι τεχνικές βιοηλεκτρικής αντίστασης ιστών αποτελούν, σε συνδυασμό με τις δερματοπυκτές, ενδεδειγμένες τεχνικές εκτίμησης σωματικού λίπους και απώλειας του επί μέτριας παχυσαρκίας στην καθημερινή κλινική πράξη.

Βιβλιογραφία

- Garrow JS. Composition of the body. In: Garrow JS, James WPT eds. *Human Nutrition and Dietetics*. London, UK; Churchill Livingstone; 1993: 12-24.
- Müller MJ, Boky-Westphal A, Kutzner D, Heller M. Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans: recent lessons from imaging technologies. *Obes Rev* 2002; 3: 113-122.
- McCargar L. New insights into body composition and health through imaging analysis. 2007 Ryley-Jeffs memorial lecture. *Can J Diet Pract Res* 2007; 68: 160-165.
- Heber D, Ingles S, Ashley JM et al. Clinical detection of sarcopenic obesity by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996; 64: 472S-477S.
- Heymsfield SB. Body composition: an overview. In: Medeiros-Neto G, Halpern A, Bouchard C eds. *Progress in obesity research*. Montrouge, France; John Libbey; 2003: 999-1003.
- Lohman TG. Body composition. In: Fairburn CG, Brownell KD eds. *Eating disorders and Obesity*. New York; Guilford Press; 2002: 62-66.
- Svendsen OL, Hassager C, Christiansen C et al. Impact of regional and total body composition and hormones on resting energy expenditure in overweight postmenopausal women. *Metabolism* 1993; 42: 1588-1591.
- Barbe P. Analyse de la composition corporelle In: Basdevant A, Guy-Grand B eds. *Medicine de l'Obésité*: Paris, France; Medecine-Sciences Flammarion; 2004: 117-124.
- Mazariegos M, Kral JG, Wang J et al. Body composition and surgical treatment of obesity. Effects of weight loss on fluid distribution. *Ann Surg* 1992; 216: 69-73.
- Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev* 2000; 80: 649-680.
- Jebb SA, Elia M. Techniques for the measurement of body composition: a practical guide. *Int J Obes* 1993; 17:611-621.
- Elia M. Body composition analysis: an evaluation of 2 component models, multicomponent models and bedside techniques. *Clin Nutr* 1992; 11: 114-127.
- Bertin E, Marcus C, Ruiz JC et al. Measurement of visceral adipose tissue by DEXA combined with anthropometry in obese humans. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; 24: 263-270.
- Park YW, Heymsfield SB, Gallagher D. Are dual-energy X-ray absorptiometry regional estimates associated with visceral adipose tissue mass? *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; 26: 978-983.
- Evans EM, Saunders MJ, Spano MA et al. Body-composition changes with diet and exercise in obese women: a comparison of estimates from clinical methods and a 4-component model. *Am J Clin Nutr* 1999; 70: 5-12.
- Kohrt WM. Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition. *J Appl Physiol* 1998; 84: 372-377.
- Erselcan T, Candan F, Saruhan S et al. Comparison of body composition analysis methods in clinical routine. *Ann Nutr Metab* 2000; 44: 243-248.
- Frisard MI, Greenway FL, DeLany JP. Comparison of methods to assess body composition changes during a period of weight loss. *Obesity Res* 2005; 13: 845-854.
- Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). Description of system. *Br J Radiol* 1973; 46: 1016-1022.
- Matsuzawa Y, Nakamura T, Shimomura I et al. Visceral fat accumulation and cardiovascular disease. *Obes Res* 1995; 3: 645S-647S.
- Kobayashi J, Tadokoro N, Watanabe M, Shinomiya M. A novel method of measuring intra-abdominal fat volume using helical computed tomography. *Int J Obes* 2002; 26: 398-402.
- Information on typical radiation effective doses from diagnostic procedures. European Commission, Radiation Protection Report 118, "Referral guidelines for imaging." Directorate-General for the Environment of the European Commission, 2000. <http://europa.eu.int/comm/environment/radprot/118/rp-118-en.pdf>
- Mallard J. Magnetic resonance imaging—the Aberdeen perspective on developments in the early years. *Phys Med Biol* 2006; 51: R45-R60.
- Bassen H, Schaefer DJ, Zaremba L et al. IEEE Committee on Man and Radiation (COMAR) technical information statement "Exposure of medical personnel to electromagnetic fields from open magnetic resonance imaging systems". *Health Physics* 2005; 89: 684-689.
- Kamel EG, McNeill G, Han TS et al. Measurement of abdominal fat by magnetic resonance imaging, dual-energy X-ray absorptiometry and anthropometry in non-obese men and women. *Int J Obes* 1999; 23: 686-692.
- Ruan XY, Gallagher D, Harris T et al. Estimating whole body intermuscular adipose tissue from single cross-sectional magnetic resonance images *J Appl Physiol* 2007; 102: 748-754.
- Kanaley JA, Giannopoulou I, Ploutz-Snyder LL. 2006 Regional differences in abdominal fat loss. *Int J Obes* 2007; 31: 147-152.
- Clarke JR, Brglevska S, Lau EW et al. Atypical brown fat distribution in young males demonstrated on PET/CT. *Clin Nucl Med* 2007; 32: 679-682.
- Nedergaard J, Bengtsson T, Cannon B. Unexpected evidence for active brown adipose tissue in adult humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007; 293: E444-E452.
- Hadi M, Chen CC, Whatley M et al. Brown fat imaging with (18) F-6-fluorodopamine PET/CT, (18) F-FDG PET/CT and (123) I-MIBG SPECT: a study of patients being evaluated for pheochromocytoma. *J Nucl Med* 2007; 48: 1077-1083.
- Carson RE. Tracer kinetic modeling in PET. In: Valk PE, Bailey DL, Townsend DW, Maisey MN eds. *Positron Emission Tomography. Basic Science and Clinical Practice*. London, UK; Springer-Verlag; 2003: 147-180.
- Virtanen KA, Iozzo P, Hällsten K et al. Increased fat mass compensates for insulin resistance in abdominal obesity and type 2 diabetes: a positron-emitting tomography study. *Diabetes* 2005; 54: 2720-2726.
- Virtanen KA, Lönnroth P, Parkkola R et al. Glucose uptake and perfusion in subcutaneous and visceral adipose tissue during insulin stimulation in nonobese and obese humans. *J Clin Endocrinol Metab* 2002; 87: 3902-3910.
- Fields DA, Goran MI, McCrory MA. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr* 2002; 75: 453-467.
- Le Carvenec M, Fagour C, Adenis- Lamarre E et al. Body composition of obese subjects by air displacement plethysmography: The influence of hydration. *Obesity* 2007; 15: 78-84.
- Das SK, Roberts SB, Kehayias JJ et al. Body composition assessment in extreme obesity and after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003; 284: E1080-1088.
- Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987; 46: 537-555.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Bioelectrical impedance analysis –part I: review of principles and methods. Composition of the ESPEN Working Group. *Clin Nutr* 2004; 23: 1226-1243.
- Alvarez VP, Dixon JB, Strauss BJ et al. Single frequency bioelectrical impedance is a poor method for determining fat mass in moderately obese women. *Obes Surg* 2007; 17: 211-221.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD et al. Composition of the ESPEN Working Group. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in

clinical practice. *Clin Nutr* 2004; 23:1430-1453.

41. Jebb SA, Cole TJ, Doman D et al. Evaluation of the novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr* 2000; 83: 115-122.
42. Τσαμέτης Χ, Τζώτζας Θ, Κωνσταντινίδης Θ και συν. Σύγκριση μεταξύ των μεθόδων διπλής φωτονιακής απορρόφησης ακτινών-Χ (DEXA) και βιοηλεκτρικής αντίστασης των ιστών (BIA) με ζυγό τύπου Tanita για την εκτίμηση της σύστασης του σώματος σε γυναίκες, Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Ιατρικού Συνεδρίου Παχυσαρκίας, Αθήνα 2001, σ. 112.
43. Jebb SA, Siervo M, Murgatroyd PR et al. Validity of the leg-to-leg bioimpedance to estimate changes in body fat during weight loss and regain in overweight women: a comparison with multi-compartment models. *Int J Obes* 2007; 31: 756-762.
44. Chouinard LE, Schoeller DA, Watras AC et al. Bioelectrical impedance vs. Four-compartment model to assess body fat change in overweight adults. *Obesity* 2007; 15: 85-92.
45. Buchholz AC, Bartok C, Schoeller DA. The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations. *Nutr Clin Pract* 2004; 19: 433-446.
46. Piccoli A, Brunani A, Savia G et al. Discriminating between body fat and fluid changes in the obese adult using bioimpedance vector analysis. *Int J Obes* 1998; 22: 97-104.
47. World Health Organization. Obesity. Preventing and managing the global epidemic. WHO Report, WHO: Geneva 1998.
48. AM Prentice, S Jebb. Beyond body mass index. *Obesity Reviews* 2001; 2: 141-147.
49. Lean ME, Han TS, Seidell JC. Impairment of health and quality of life in people with large waist circumference. *Lancet* 1998; 351: 853-856.
50. Anonymous. Executive summary of the third report of the national cholesterol education program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult treatment panel III). *JAMA* 2001; 285: 2486-2497.
51. Heber D, Bowerman S. Body-Composition Analysis. In: Bessesen DH, Kushner R eds. *Evaluation and management of Obesity*. Philadelphia, USA: Hanley and Belfus; 2002: 23-28.
52. Kahn HS, Austin H, Williamson DF et al. Simple anthropometric indices associated with ischemic heart disease. *J Clin Epidemiol* 1996; 49: 1017-1024.
53. Sjöström L, Kvist H. Regional body fat measurements with CAT-scan and evaluation of anthropometric predictions. *Acta Med Scand* 1988; 723(Suppl): 169-177.
54. Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skin fold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 1974;32:77-97.
55. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 1978; 40: 497-504.
56. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12: 175-181.



Body composition analysis in obesity: Radionuclide and non radionuclide methods

Themistoklis Tzotzas, Gerasimos E.Krassas, Argirios Doumas

Abstract

Body composition (BC) assessment provides important information regarding the absolute or relative amount of bone, lean and fat tissue. Different somatometric techniques have been applied in numerous epidemiological and experimental studies, as well as in every day clinical practice. Traditional techniques for BC analysis include skin fold thickness measurements, radioisotope dilution methods, hydrodensitometry and underwater weighing, while newer techniques include bioelectrical impedance analysis (BIA), air displacement plethysmography (ADP), dual energy X-rays absorptiometry (DEXA), computer tomography and magnetic resonance imaging. In addition, positron emission tomography (PET) helped to the functional investigation of adipose tissue, in particular of brown tissue. All these techniques have contributed a lot to the understanding of physiological conditions such as exercise training, menopause and ageing, adolescence health parameters, as well as pathological conditions such as disorders of nutrition, cancer, obesity and diabetes mellitus. In obesity, BC contributed to diagnosis and the pathological impact of visceral adipose tissue. In addition, conditions such as pseudo- or hypermuscular obesity and sarcopenia, which are often observed in various endocrine diseases, were investigated in detail by using such methods. During weight loss, some of these methods were quite accurate in measuring changes in fat and lean mass. Apart from anthropometric measurements, a BC measurement if possible should be included in obesity assessment. Measurements of skin fold thickness combined with BIA are quite sufficient for routine clinical practice. However, in specialized clinics and in research, more sophisticated methods like ADP or DEXA are used.

Keywords: Total body fat – Free fat mass – Dual energy X-rays – MRI

Hell J Nucl Med 2008; 11 (1): 63-71

Correspondence address:

Krassas Gerasimos,
N. Plastira 22, 551 32 N. Krini, Thessaloniki, Macedonia, Greece.
Tel: +302310 479633 & +302310 278279
Fax: +302310 282476. e-mail: krassas@the.forthnet.gr