



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

Τσιρλή Ειρήνη

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ
ΠΛΗΘΥΣΜΟ**

Τριμελής Επιτροπή

Γιαννακούλια Μαίρη

Κάβουρας Σταύρος

Συντώσης Λάμπρος

Αθήνα 2007

EYΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την εθελοντική προσφορά όλων των συμμετεχόντων καθώς και των εργαζόμενων στο χώρο του πανεπιστημίου, που όχι μόνο βοήθησαν συμμετέχοντας στις μετρήσεις του βασικού μεταβολικού ρυθμού αλλά συμβάλλοντας και στην αναζήτηση άλλων εθελοντών. Τους ευχαριστώ πολύ, όπως και τους Κάβουρα Σταύρο και Μαράκη Μαρία για την συνεργασία τους και τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδωσαν κατά τη διάρκεια της ολοκλήρωσης της πτυχιακής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού με τη βοήθεια εξισώσεων αποτελεί τον πιο κοινό και πρακτικό τρόπο παρέμβασης από τους ειδικούς στην καθημερινή κλινική πράξη. Όμως, η χρήση αυτών των εξισώσεων σχετίζεται με σφάλματα που επηρεάζουν το εκτιμώμενο αποτέλεσμα. Μια συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι συνεπώς απαραίτητη για την αξιολόγηση της ακρίβειας και αξιοπιστίας τους.

Στην παρούσα μελέτη, αξιολογούνται οι εξισώσεις βασικού μεταβολικού ρυθμού στον γυναικείο ελληνικό πληθυσμό. Συγκεκριμένα μετρήθηκε το BMR 35 παχύσαρκων γυναικών (ηλικίας 20-58 ετών, BMI>40kg/m²) με την μέθοδο της έμμεσης θερμιδομετρίας, με απώτερο στόχο τη σύγκριση των τιμών αυτών με τις τιμές που προκύπτουν από τις υπάρχουσες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εξισώσεις (Mifflin-St Jeor 1990, Harris & Benedict 1919, Owen 1986-1987, WHO/FAO/UNU 1985, Bernstein 1983, Robertson και Reid 1952, Van der Weg 2004, Schofield 1985, Siervo 2003).

Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το εργοσπειρόμετρο Sensormedics Vmax 229. Οι εθελοντές προσήλθαν στο εργαστήριο κατόπιν 12ωρης νηστείας, αποχής από έντονη φυσική δραστηριότητα την προηγούμενη μέρα και αποχή από το κάπνισμα το πρωί. Εκεί μετρήθηκε το βάρος και το ύψος τους και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε 45λεπτη μέτρηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού τους κάτω από συνθήκες απόλυτης ηρεμίας.

Από τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν, άλλες όπως ήταν αναμενόμενο υπερεκτίμησαν (Mifflin-St.Jeor, Harris-Benedict, Schofield, WHO, Siervo, Van der Weg) και άλλες υποεκτίμησαν (Owen, Bernstein) τα αποτελέσματα. Μάλιστα σημαντική υπερεκτίμηση παρατηρήθηκε σε εξισώσεις που εκ των προτέρων, βάση βιβλιογραφίας, γνωρίζαμε ότι υπερεκτιμούν τις πραγματικές τιμές (π.χ Harris-Benedict, Schofield). Η εξίσωση που έδωσε τιμές πλησιέστερες στις πραγματικές ήταν αυτή του Van der Weg. Παρόλα αυτά, ούτε αυτή μπορεί με βεβαιότητα να προταθεί ως η πλέον κατάλληλη για χρήση στον γυναικείο ελληνικό πληθυσμό, καθώς παρουσίασε ένα σημαντικό μειονέκτημα. Βάση της ανάλυσης Bland-Altman που πραγματοποιήθηκε, η εξίσωση αυτή παρουσιάζει αυξημένη πιθανότητα για συστηματικά λάθη. Πέρα όμως από αυτό το γεγονός, το περιορισμένο μέγεθος του δείγματος (n=35) είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που δεν επιτρέπει την διεξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1. Παχυσαρκία και Δημόσια Υγεία.....σελ. 5
Η Σημασία Διατήρησης Φυσιολογικού Σωματικού Βάρους.

1.2 Προσδιορισμός επιθυμητού σωματικού βάρους.....σελ. 7

1.3 Ενεργειακό ισοζύγιο.....σελ. 8

1.4 Συστατικά της Ενεργειακής Κατανάλωσης.....σελ. 9

1.4.1 Βασικός Μεταβολικός Ρυθμός, Ενεργειακή Δαπάνη Ηρεμίας και Μεταβολικός Ρυθμός Ηρεμίας.....σελ. 10

1.4.2 Τροφογενής Θερμογένεση, Ειδική Δυναμική Δράση, Ειδική Τροφογενής Επίδραση ή Θερμική Τροφογενής Επίδραση.....σελ. 17

1.4.3 Φυσική Δραστηριότητα.....σελ. 18

1.4.4 Άλλα Συστατικά της Ενεργειακής Κατανάλωσης.....σελ. 20

1.5 Αξιολόγηση της Ενεργειακής Κατανάλωσης –Πώς μετράμε το BMR;

1.5.1 Άμεση θερμιδομετρία.....σελ. 21

1.5.2 Έμμεση θερμιδομετρία.....σελ. 22

1.5.3 Μέθοδος με Χρήση Διπλά Σεσημασμένου Νερού.....σελ. 27

1.6 Εξισώσεις προσδιορισμού του Βασικού Μεταβολικού Ρυθμού.....σελ. 27

1.6.1 Harris and Benedict.....σελ. 28

1.6.2 Mifflin-St. Jeor.....σελ. 37

1.6.3 Owen.....σελ. 42

1.6.4 Schofield.....σελ. 47

1.6.5 WHO/FAO/UNU.....σελ. 49

1.6.6 Van der Weg.....σελ. 50

1.6.7 Siervo.....σελ. 52

1.6.8 Bernstein.....σελ. 52

1.7 Το μοντέλο των πέντε επιπέδων και οι εξισώσεις προσδιορισμού του βασικού μεταβολικού ρυθμού.....	σελ. 53
1.7.1 Σε επίπεδο ολικού σώματος.....	σελ. 53
1.7.2 Σε επίπεδο ιστών και οργάνων.....	σελ. 54
1.7.3 Πρόβλεψη σε κυτταρικό επίπεδο.....	σελ. 56
1.7.4 Πρόβλεψη σε μοριακό επίπεδο.....	σελ. 57
 1.8 Εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού σε συγκεκριμένες κατηγορίες ατόμων	
1.8.1 Ηλικιωμένοι.....	σελ. 58
1.8.2 Αθλητές.....	σελ. 60
1.8.3 Παιδιά.....	σελ. 63
 2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	
2.1 Σκοπός.....	σελ. 65
2.2 Μεθοδολογία.....	σελ. 65
2.3 Αποτελέσματα.....	σελ. 67
 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	σελ. 76
 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 78

1.1 ΠΑΧΥΣΑΡΚΙΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Η αναγνώριση του σωματικού βάρους ως δείκτη υγείας είναι πιθανά παγκόσμια και τόσο παλαιά όσο και η ίδια η ανθρωπότητα. Για την ακρίβεια, το 1846 ένας Άγγλος χειρουργός, ο John Hutchinson, δημοσίευσε έναν πίνακα ύψους-βάρους ενός δείγματος τριαντάχρονων Άγγλων και παρότρυνε να περιλαμβάνονται τέτοιες πληροφορίες στις μελλοντικές απογραφές του πληθυσμού, πιστεύοντας ότι αποτελούν πολύτιμο αρωγό στην προαγωγή της υγείας και τον εντοπισμό ασθενειών (*Weigley ES, 1984*). Σήμερα οι επιστήμονες και οι ειδικοί σε θέματα υγείας αναγνωρίζουν ότι ο κίνδυνος πολλών ασθενειών, συμπεριλαμβανομένων των καρδιακών παθήσεων, του σακχαρώδους διαβήτη, της υπέρτασης και ορισμένων μορφών καρκίνου αυξάνεται με το υπερβολικά αυξημένο σωματικό βάρος. Επιπλέον, το χαμηλό σωματικό βάρος ενδέχεται να αποτελεί ένδειξη υποσιτισμού ή κάποιας διαταραχής της πρόσληψης της τροφής και μπορεί να αποτελεί κίνδυνο άλλων ασθενειών, όπως για παράδειγμα, εκείνων που προσβάλλουν τους πνεύμονες.

Η διατήρηση λοιπόν φυσιολογικού σωματικού βάρους είναι ιδιαίτερα σημαντική. Δυστυχώς όμως στις μέρες μας δεν πρόκειται για μια απλή υπόθεση. Η παχυσαρκία είναι αναμφισβήτητα μια από τις συχνότερα εμφανιζόμενες ασθένειες στις αναπτυγμένες χώρες. Ακόμα όμως και στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου παραδοσιακά ο υποσιτισμός θεωρείται το κυριότερο διατροφικό πρόβλημα, το ποσοστό των υπέρβαρων και παχύσαρκων ατόμων αυξάνεται με ανησυχητικούς ρυθμούς (*Popkin Bm, 2001*). Αναγνωρίζεται πια ως χρόνια νόσος, αφού σχετίζεται θετικά με τον κίνδυνο θνησιμότητας, παρουσιάζοντας έτσι ομοιότητες με την υπέρταση και την υπερχοληστερολαιμία. Παράλληλα, αποτελεί, όπως ήδη αναφέραμε, σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την εμφάνιση των κυριότερων μη μεταδοτικών ασθενειών, όπως τα καρδιαγγειακά νοσήματα και ο σακχαρώδης διαβήτης. (*Eckel RH, 1997*).

Η αύξηση του ποσοστού των υπέρβαρων και παχύσαρκων ατόμων που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια προκαλεί ανησυχία λόγω της σχέσης που υπάρχει μεταξύ αυξημένου σωματικού βάρους και νοσηρότητας. Η σχέση αυτή μεταφράζεται σε αυξημένη ανάγκη για παροχή ιατρικής περίθαλψης και, κατά συνέπεια, υψηλό οικονομικό κόστος. Στις ΗΠΑ, οι άμεσες δαπάνες που σχετίζονται με την παχυσαρκία αντιπροσωπεύουν το 5,7% των συνολικών δαπανών για την υγεία (*Wolf Am, 1998*). Επιπλέον, υπάρχουν και οι έμμεσες δαπάνες, οι οποίες σχετίζονται με την απώλεια πόρων λόγω της αυξημένης νοσηρότητας και θνητότητας, έχοντας συνέπειες τόσο σε προσωπικό όσο και κοινωνικό επίπεδο. Οι απώλειες αυτές θεωρούνται συγκρίσιμες με αυτές που

οφείλονται στο κάπνισμα. Ωστόσο, η παχυσαρκία φαίνεται να έχει σημαντικότερες επιπτώσεις στην υγεία από ό,τι το κάπνισμα και η μεγάλη κατανάλωση αλκοόλ (*Sturm R., 2002*).

Η παχυσαρκία θεωρείται ο μοναδικός από τους παράγοντες κινδύνου για ανάπτυξη χρόνιων νοσημάτων με τόσο ευρείες ψυχοκοινωνικές διαστάσεις. Η βιολογική παράμετρος της νόσου τείνει να αποκτήσει δευτερεύουσα σημασία σε σχέση με τα κοινωνικά και ψυχολογικά προβλήματα που δημιουργούνται. Κι αυτό λόγω των πολιτισμικών αξιών που συνδέουν το αδύνατο με το όμορφο και αντίστοιχα το παχύσαρκο με το άσχημο, το αίσθημα απώλειας του προσωπικού ελέγχου, κλπ. Στις σύγχρονες, δυτικού τύπου κοινωνίες, τα παχύσαρκα άτομα βιώνουν προκατάληψη από τα υπόλοιπα μέλη της κοινωνίας, τόσο στις επαγγελματικές ευκαιρίες όσο και στις προσωπικές σχέσεις. Για αυτό το λόγο, σε ασθενείς με ήπια ή μετρίου βαθμού παχυσαρκία ακόμα και οι μικρές αλλαγές συμπεριφοράς που οδήγησαν σε απώλεια σωματικού βάρους βελτίωσαν, τουλάχιστον βραχυχρόνια, την ποιότητα ζωής τους (*Fontaine KR, Barofsky I., 2001*).

Οι έννοιες “ιδανικό βάρος”, “υπέρβαρος”, “παχύσαρκος” αποκτούν διαφορετικό νόημα στον ιατρικό κόσμο και στο ευρύ κοινό, γιατί τα κριτήρια είναι διαφορετικά. Οι διατροφικές συνήθειες - οι οποίες σχετίζονται με το σωματικό βάρος – καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το κοινωνικοπολιτισμικό περιβάλλον και καθοδηγούνται σε σημαντικό βαθμό από τη βιομηχανία τροφίμων και τη διαφήμιση, με τέτοιο τρόπο ώστε να αγνοούνται ή να υποβαθμίζονται οι συστάσεις από τους φορείς υγείας. Έτσι, οι καταναλωτές καταλήγουν να έχουν τη δική τους άποψη για την αλληλεπίδραση τροφής-υγείας, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό από αυτές των ειδικών.

Συμπερασματικά, η παχυσαρκία δεν μπορεί να οριστεί μονοδιάστατα ως ένα πρόβλημα υγείας, αλλά ως ένα πλαίσιο προβλημάτων που αφορούν πολλούς τομείς της ζωής του ανθρώπου. Θετικό είναι το γεγονός ότι τελευταία αναγνωρίζεται από όλους ότι η λύση του προβλήματος δεν πρέπει να περιλαμβάνει μόνο την ιατρική προσέγγιση, αλλά και πολλές άλλες παρεμβάσεις, με στόχο τη συνολική βελτίωση της υγείας του ατόμου.

1.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΣΩΜΑΤΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Ο προσδιορισμός του συνιστώμενου σωματικού βάρους μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφόρων προσεγγίσεων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης πινάκων (ύψους-βάρους και ύψους-βάρους με βάση την ηλικία) και μαθηματικών τύπων.

Οι πίνακες ύψους-βάρους χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά για τον προσδιορισμό του συνιστώμενου βάρους ενός ενήλικα, δίνοντας την περιοχή "ιδεώδους βάρους" για κάθε τιμή ύψους, χωριστά για άνδρες και γυναίκες. Το βάρος που δίνεται σε κάθε περίπτωση είναι αυτό που συσχετίζεται με τη χαμηλότερη νοσηρότητα σύμφωνα με στοιχεία που έχουν συλλέξει και επεξεργαστεί μεγάλες ασφαλιστικές εταιρίες (πίνακας 1.1) **Πίνακας 1.1.** Πίνακας ύψους-βάρους της Μετροπόλιταν για τις γυναίκες, 1983

Ύψος	Σκελετός:		Μικρός		Μεσαίος		Μεγάλος	
In	cm	m ²	lb	kg	lb	kg	lb	Kg
57	145	2,10	99-108	45,0-49,1	106-118	48,2-53,6	115-128	52,3-58,2
58	147	2,17	100-110	45,5-50,0	108-120	49,1-54,5	117-131	53,2-59,5
59	150	2,25	101-112	45,9-50,9	110-123	50,0-55,9	119-134	54,1-60,9
60	152	2,32	103-115	46,8-52,3	112-126	50,9-57,3	122-137	55,5-62,3
61	155	2,40	105-118	47,7-53,6	115-129	52,3-58,6	125-140	56,8-63,6
62	157	2,48	108-121	49,1-55,0	118-132	53,6-60,0	128-144	58,1-65,5
63	160	2,56	111-124	50,5-56,4	121-135	55,0-61,4	131-148	59,5-67,3
64	163	2,64	114-127	51,8-57,7	124-138	56,4-62,7	134-152	60,9-69,1
65	165	2,72	117-130	53,2-59,1	127-141	57,7-64,1	137-156	62,2-70,9
66	168	2,81	120-133	54,5-60,5	130-144	59,1-65,5	140-160	63,6-72,7
67	170	2,90	123-136	55,9-61,8	133-147	60,5-66,8	143-164	66,4-75,9
68	173	2,98	126-139	57,3-63,2	136-150	61,8-68,2	146-167	65,0-74,6
69	175	3,07	129-142	58,6-64,6	139-153	63,2-69,5	149-170	67,7-77,3
70	178	3,16	132-145	60,0-65,9	142-156	64,5-70,9	152-173	60,1-78,6

Ένας άλλος εύχρηστος και αξιόπιστος τρόπος προσδιορισμού του επιθυμητού σωματικού βάρους είναι μέσω του υπολογισμού του δείκτη μάζας σώματος (BMI- Body Mass Index ή δείκτης Quetelet).

$$\text{BMI} = \text{Βάρος (kg)} / [\text{Υψος (m)}]^2$$

Οι επιθυμητές τιμές του δείκτη μάζας σώματος κυμαίνονται μεταξύ του 18,5 kg/m² και 25 kg/m². Τιμές BMI μεγαλύτερες του 30, υποδηλώνουν παχύσαρκο άτομο. Εξαίρεση αποτελούν άτομα τα οποία έχουν ασυνήθιστα μεγάλη μυϊκή μάζα. Σημειωτέον, ότι η χρήση τόσο του δείκτη μάζας σώματος όσο και των πινάκων ύψους-βάρους για τον προσδιορισμό του επιθυμητού βάρους, δεν λαμβάνουν καθόλου υπόψη τη σύσταση σώματος. Ο πίνακας 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζει την κατάταξη σωματικού βάρους με βάση το ΔΜΣ.

Πίνακας 1.2 Κατάταξη σωματικού βάρους με βάση το Δείκτη Μάζας Σώματος σε άνδρες και γυναίκες

<i>Δείκτης μάζας σώματος</i>	<i>Αξιολόγηση</i>
<18,5 kg/m ²	Επικίνδυνα χαμηλό σωματικό βάρος
18,5-24,9 kg/m ²	Υγιές βάρος
25-29,9 kg/m ²	Υπέρβαρος
30-34,9 kg/m ²	Παχύσαρκος τύπου I
35-39,9 kg/m ²	Παχύσαρκος τύπου II
>40,0 kg/m ²	Νοσογόνος παχυσαρκία

Από Expert Panel on the Identification, Evaluation, and Treatment of Overweight in Adults. Clinical Guidelines on the Identification, Evaluation, and Treatment of Overweight and Obesity in Adults: Executive Summary. Am J Clin Nutr. 1998;68:899-917

1.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Η διατήρηση ή αύξηση ή μείωση του σωματικού βάρους στηρίζεται στην εξής σχέση:

Ενεργειακό ισοζύγιο (EI)=Προσλαμβανόμενη ενέργεια – Καταναλισκόμενη ενέργεια.

Η προσλαμβανόμενη ενέργεια εκτιμάται αφού καταγραφεί επακριβώς η κατανάλωση τροφίμων και με τη βοήθεια πινάκων σύνθεσης τροφίμων. Η δαπανούμενη ενέργεια συνήθως εκτιμάται υπολογιστικά, με τρόπο που θα αναλύσουμε παρακάτω. Ωστόσο, υπάρχουν και πειραματικές μέθοδοι που δίνουν πιο αξιόπιστες τιμές της δαπανούμενης ενέργειας και στις οποίες επίσης θα αναφερθούμε. Οι πιο γνωστές από αυτές τις μεθόδους είναι η άμεση και έμμεση θερμιδομετρία.

Όταν ο ανθρώπινος οργανισμός προσλαμβάνει με τη μορφή θερμίδων από τις τροφές λιγότερη ενέργεια από όση χρειάζεται για τις μεταβολικές του διεργασίες, τότε προκύπτει αρνητικό

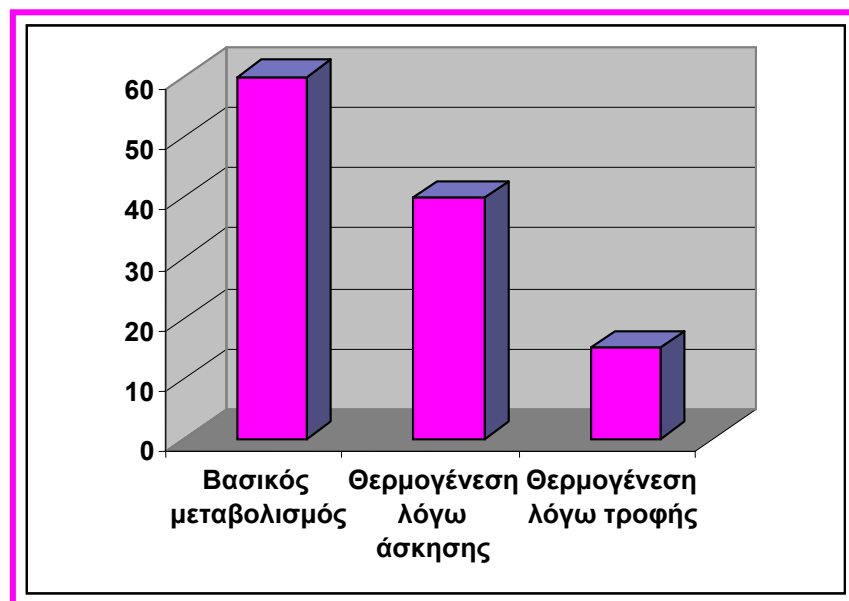
ισοζύγιο ενέργειας και μειώνεται το σωματικό βάρος. Στην αντίθετη περίπτωση, η αυξημένη πρόσληψη θερμίδων σε σχέση με την καταναλισκόμενη ενέργεια, οδηγεί σε θετικό ισοζύγιο ενέργειας και αύξηση του σωματικού βάρους. Σε υγιή άτομα, όταν το ισοζύγιο ενέργειας βρίσκεται σε ισορροπία, δηλαδή όταν η συνολική ημερήσια προσλαμβανόμενη ενέργεια είναι ίση με την καταναλισκόμενη, το σωματικό βάρος παραμένει σταθερό.

1.4 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση συνίσταται κυρίως από:

- Το βασικό μεταβολικό ρυθμό (Basal Metabolic Rate, BMR), την ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας (Resting Energy Expenditure, REE) ή μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας (Resting Metabolic Rate, RMR)
- Την τροφογενή θερμογένεση (Diet-Induced Thermogenesis, DIT) – γνωστή και ως ειδική δυναμική δράση (Specific Dynamic Action, SDA), ειδική τροφογενή επίδραση (Specific Effect of Food, SEF) ή θερμική τροφογενή επίδραση (Thermic Effect of Food, TEF) και
- Την επίδραση της σωματικής δραστηριότητας ή της άσκησης (θερμογένεση λόγω άσκησης)

Μερικές φορές περιλαμβάνεται και ένα τέταρτο συστατικό, η προσαρμοζόμενη θερμογένεση (Adaptive Thermogenesis). Η μέση ποσοστιαία συνεισφορά των συστατικών της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, κάθε ένα από τα οποία παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα, δίνεται στο σχήμα 1.3 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.3. Τα κύρια συστατικά της ενεργειακής κατανάλωσης και η κατά προσέγγιση εκατοστιαία αναλογία τους.

✱ 1.4.1 ΒΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΑΠΑΝΗ ΗΡΕΜΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΣ ΡΥΘΜΟΣ

Παρότι οι όροι « βασικός» και «ηρεμίας» συχνά χρησιμοποιούνται ως συνώνυμοι, υπάρχουν ωστόσο διαφορές. Ο όρος «βασικός» στο βασικό μεταβολικό ρυθμό ορίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι ο όρος «ηρεμίας» στην ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας.

Ο *βασικός μεταβολικός ρυθμός (BMR)* αντιπροσωπεύει τις ενεργειακές απαιτήσεις των πολλών διαφορετικών διεργασιών των κυττάρων και των ιστών που είναι απαραίτητες για τη συνέχεια των φυσιολογικών δραστηριοτήτων (συστολή της καρδιάς, αναπνοή, έκκριση ορμονών, δραστηριότητα του νευρικού συστήματος) σε κατάσταση ηρεμίας και νηστείας.

Προσδιορίζεται όταν το άτομο βρίσκεται στο μετα-απορροφητικό στάδιο (δηλ. χωρίς πρόσληψη τροφής για 12 ώρες τουλάχιστον), είναι ξαπλωμένο και εντελώς ήρεμο, κατά προτίμηση αμέσως μετά το πρωινό ξύπνημα. Η διάρκεια της νηστείας επιτρέπει να ολοκληρωθεί η πέψη με αποτέλεσμα να εξαλειφθούν οι ενεργειακές της απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της μέτρησης (*Ganong WF, 1965*) ενώ επίσης, η απόλυτη ηρεμία του ατόμου είναι βασική, διότι το αυξημένο στρες ανυψώνει το BMR (*Schmidt WD, 1996 - Morgan WP, 1985*). Επιπλέον, η θερμοκρασία του δωματίου, όπου λαμβάνει χώρα η μέτρηση, είναι όσο το δυνατόν πιο άνετη για τον εξεταζόμενο και γενικότερα πιθανοί παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τις βιολογικές λειτουργίες του οργανισμού μειώνονται στο ελάχιστο δυνατό.

Σε αντίθεση με το βασικό μεταβολικό ρυθμό, η *ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας (RMR)* δε μετράται συνήθως υπό βασικές συνθήκες (*Food and Nutrition Board, Commission on Life Sciences, National Research Council, 1989*). Μετράται, όταν το άτομο είναι σε κατάσταση ηρεμίας, σε ένα άνετο περιβάλλον, χωρίς ωστόσο να είναι απαραίτητη η νηστεία για 12 ώρες. Συνήθως, η περίοδος νηστείας για τη μέτρηση της ενεργειακής δαπάνης ηρεμίας είναι 2 έως 4 ώρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό του RMR να αποτελείται από το ενεργειακό κόστος της πέψης. Έτσι, ο RMR είναι ελαφρώς υψηλότερος από τον BMR (*Danforth E., 1985*), εξαιτίας των λιγότερο αυστηρών συνθηκών που επικρατούν κατά τη μέτρησή της. Ωστόσο, συνήθως ο βασικός μεταβολικός ρυθμός και η ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας διαφέρουν κατά περίπου 10% (*Food and Nutrition Board, Commission on Life Sciences, National Research Council, 1989*). Η ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί στο 65% έως 75% της συνολικής ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης (*Danforth E., 1985*), ενώ ο βασικός μεταβολικός ρυθμός αντιστοιχεί στο 50% έως 70% της συνολικής ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης (*Ravussin E, Bogardus C., 1992*).

Ο βασικός μεταβολισμός είναι το αποτέλεσμα μετατροπών ενέργειας σε όλα τα κύτταρα του σώματος. Ωστόσο, ο ρυθμός της κατανάλωσης οξυγόνου σχετίζεται περισσότερο με τα μεταβολικά δραστήρια κύτταρα ή την ισχνή μάζα σώματος ή την κυτταρική μάζα σώματος (*Grande E, 1984 - Welle S, Nair K., 1990*). Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός ανά μονάδα σωματικού βάρους δεν επηρεάζεται μόνο από την αναλογία της κυτταρικής μάζας σώματος προς τα λιγότερο δραστήρια συστατικά του σώματος, όπως το λίπος, αλλά και από μεταβολές στις αναλογίες των ιστών που συνιστούν τη δραστήρια κυτταρική μάζα. Με τη γήρανση, το λίπος αυξάνεται σε βάρος της κυτταρικής μάζας σώματος και ο βασικός μεταβολικός ρυθμός μειώνεται. Με την ωρίμανση, η αναλογία των υποστηρικτικών δομών (δηλ. οστά και μύες) αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς από ό,τι το συνολικό σωματικό βάρος. Τα οστά και οι μύες, αν και αποτελούν συστατικά της κυτταρικής μάζας σώματος, έχουν πολλή χαμηλότερη μεταβολική δραστηριότητα σε σχέση με τους ιστούς των εσωτερικών οργάνων, πολλή υψηλότερη όμως σε σχέση με το λιπώδη ιστό. Αυτή η διαφορά στο ρυθμό της αύξησης του βάρους ανάμεσα στα λιγότερο και τα περισσότερα δραστήρια ή ενεργά συστατικά της κυτταρικής μάζας σώματος υποδηλώνει μια μείωση στη συνολική μεταβολική δραστηριότητα της κυτταρικής μάζας και μια ταυτόχρονη μείωση του βασικού μεταβολικού ρυθμού ανά μονάδα σωματικού βάρους (*Grande E, 1984*). Οι μεταβολές αυτές που συμβαίνουν κατά την ωρίμανση εξηγούν τη χαμηλότερη ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας των παιδιών σε σχέση με εκείνη των βρεφών.

Η παρατήρηση της μεταβολικής δραστηριότητας των διαφορετικών συστατικών της κυτταρικής μάζας σε έναν ενήλικα άντρα δίνει σαφή εικόνα της ποικιλομορφίας που παρουσιάζει η μεταβολική δραστηριότητα. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, 5% περίπου του συνολικού σωματικού βάρους μπορεί να αποδοθεί στο βάρος του εγκεφάλου, του ήπατος, της καρδιάς και των νεφρών, ενώ 40% περίπου του σωματικού βάρους αποδίδεται στη μυϊκή μάζα (*Grande E, 1984*). Ταυτόχρονα, η μεταβολική δραστηριότητα των εσωτερικών οργάνων αναλογεί στο 60% περίπου της βασικής κατανάλωσης οξυγόνου, ενώ της μυϊκής μάζας αναλογεί μόνο στο 25% (*Grande E, 1984*). Συνεπώς, μεταβολές στις αναλογίες των σωματικών ιστών συνεπάγονται και μεταβολή στο βασικό μεταβολικό ρυθμό (*Grande E, 1984*). Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός όμως, επηρεάζεται και από μία σειρά άλλων παραγόντων, όπως είναι:

- ★ **Η Ηλικία.** Είναι γεγονός ότι ο BMR επηρεάζεται και καθορίζεται σε μεγάλο ποσοστό από την άλιπη μάζα σώματος (FFM) με αποτέλεσμα να είναι υψηλότερος σε περιόδους γρήγορης ανάπτυξης, κυρίως στα δύο πρώτα χρόνια ζωής του ατόμου. Κατά την παιδική και εφηβική ηλικία, όπου παρατηρείται η μέγιστη βιολογική και σωματική ανάπτυξη, είναι ιδιαίτερα

αυξημένος, γεγονός το οποίο δικαιολογεί τις ιδιαίτερα αυξημένες απαιτήσεις των ατόμων αυτής της ηλικίας (Torun B. 1996). Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της ζωής ενός ενήλικα παρατηρείται σταθερή μείωση του βασικού μεταβολισμού, η οποία υπολογίζεται σε 2%-3% περίπου για κάθε δεκαετία (Poehlmann ET. 1993). Αυτό οφείλεται εν μέρει στη μείωση που επέρχεται με το χρόνο στην κυτταρική μάζα, καθώς και στη μείωση του μυϊκού ιστού, του μυϊκού τόνου και της φυσικής δραστηριότητας του ατόμου (Piers LS, 1998). Βέβαια, έρευνες έχουν δείξει ότι ο BMR ηλικιωμένων ατόμων είναι σημαντικά μειωμένος σε σχέση με αυτόν νεαρών ατόμων, ακόμη και μετά από προσαρμογή στη σύσταση του σώματος (Piers LS, 1998 - Visser M., 1995 - Klausen B., 1996 - Morgan J.B, 1983). Η μείωση αυτή πιθανόν να ερμηνεύεται, κατά ένα μέρος, από δομικές και λειτουργικές αλλαγές που συμβαίνουν στα όργανα και στους ιστούς κατά το γήρας και έχουν ως αποτέλεσμα την μειωμένη χρησιμοποίηση του οξυγόνου και συνεπώς τη μειωμένη ενεργειακή κατανάλωση (Piers LS, 1998 - Poehlman ET, 1993).

- ★ **Η Σύσταση σώματος.** Ο βασικός μεταβολικός ρυθμός σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα του μεταβολικά ενεργού ιστού που διαθέτει το άτομο, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι καθορίζεται αποκλειστικά από αυτόν. Κατά την ηρεμία ιστοί, όπως η καρδιά, το ήπαρ, οι νεφροί και άλλα εσωτερικά όργανα είναι πιο ενεργοί μεταβολικά απ'ότι οι μυϊκοί ιστοί, οι οποίοι όμως "καίνε" περισσότερες θερμίδες από τον λιπώδη ιστό.

Πίνακας 1.4 Ενεργειακή δαπάνη των οργάνων σε ενήλικες (Mahan L.K., 2000)

Όργανο	% του RMR
Ήπαρ	29
Εγκέφαλος	19
Καρδιά	10
Νεφρά	7
Μυϊκός Ιστός (ηρεμία)	18
Άλλα όργανα	17

Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι όσο πιο αυξημένο είναι το ποσοστό της μυϊκής μάζας στο σώμα τόσο πιο αυξημένος είναι και ο βασικός μεταβολικός ρυθμός. Έτσι, οι αθλητές εμφανίζουν περίπου 5% υψηλότερο BMR σε σχέση με μη

αθλητές λόγω της μεγαλύτερης μυϊκής μάζας που διαθέτουν και επίσης, αυτός είναι και ένας λόγος για τον οποίον οι άντρες έχουν κατά μέσο όρο μεγαλύτερο βασικό μεταβολικό ρυθμό από τις γυναίκες, καθώς φυσιολογικά έχουν περισσότερο μυϊκό ιστό και άρα και μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις. Μια αλλαγή στην αναλογία αυτών των ιστών επιφέρει και ανάλογες αλλαγές στο BMR (Mahan L.K., 2000) με βασικό παράδειγμα τα άτομα της τρίτης ηλικίας, τα οποία επειδή με το πέρασμα του χρόνου χάνουν μέρος του μυϊκού τους ιστού, εμφανίζουν μειωμένο BMR. Στον πίνακα 1.5 που ακολουθεί και παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση

ενηλίκων σε συνθήκες ηρεμίας, φαίνεται ότι για δεδομένο βάρος η ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό του σωματικού λίπους.

Πίνακας 1.5. Φυσιολογικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας ενηλίκων σε συνθήκες ανάπαυσης. Στοιχεία των Davidson S et al 1979.

Σωματικό λίπος%	Σωματικό βάρος (kg)				
	50	60	70	80	
5	0,98	1,12	1,27	1,39	Kcal/min
10	0,93	1,08	1,22	1,34	
15	0,88	1,03	1,17	1,29	
20	0,83	0,96	1,12	1,24	
25	0,79	0,93	1,08	1,20	
30	-	0,88	1,03	1,15	

- ★ **Το Ύψος.** Τα ψηλότερα άτομα έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια σώματος και η επιφάνεια σώματος είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς σχετίζεται με απώλεια θερμότητας μέσω της εφίδρωσης. Κατά συνέπεια, άτομα μεγαλόσωμα χάνουν σημαντικά ποσά ενέργειας από το σώμα τους και γι' αυτό έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις. Αν δύο άτομα έχουν το ίδιο βάρος και το ένα από αυτά είναι υψηλότερο, τότε το άτομο με το μεγαλύτερο ύψος και κατά συνέπεια με τη μεγαλύτερη επιφάνεια σώματος έχει μεγαλύτερο BMR (*Whitney EN, 2002*). Τα ψηλά άτομα έχουν κατά κανόνα μεγαλύτερο BMR απ' ότι τα κοντά. Σε έρευνα βρέθηκε ότι σε 2 ομάδες ατόμων, κοντών ($1,65 \pm 0,03$ m) και υψηλών ($1,87 \pm 0,04$ m), όπου το % λίπους ήταν όμοιο, το BMR των ψηλών ατόμων ήταν κατά 20% μεγαλύτερο απ' αυτό των κοντών, αλλά 12% μικρότερο ανά άλιπη μάζα σώματος (FFM) και 10% μικρότερο ανά σωματικό βάρος (*Censi L, 1998*).
- ★ **Η Ανάπτυξη.** Άτομα που βρίσκονται στην ανάπτυξη πρέπει να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις της αυξημένης βιοσύνθεσης και για το λόγο αυτό έχουν αυξημένο BMR. Αυξημένο BMR έχουν και οι έγκυες και θηλάζουσες γυναίκες. Συγκεκριμένα, οι γυναίκες εμφανίζουν περίπου 15-26% υψηλότερο BMR κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης (*Butte NF, 1999*) λόγω της αύξησης της μυϊκής μάζας της μήτρας, του πλακούντα, του εμβρύου και της αναπνευστικής και καρδιακής λειτουργίας. Επίσης, κατά την εγκυμοσύνη αυξάνονται συνήθως και τα ποσά των κυκλοφορόντων ορμονών. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί κατά ένα ποσοστό τις αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις και την αυξημένη όρεξη της εγκύου (*Goldberg GR, 1993*).

- ★ **Οι Ασθένειες.** Σε περιπτώσεις ύπαρξης ασθένειας, παρατηρούνται μεταβολές στο βασικό μεταβολικό ρυθμό, μεταβολές που εξαρτώνται από τον τύπο της ασθένειας. Οι λοιμώξεις ή ο πυρετός αυξάνουν το BMR περίπου 7% για κάθε F ή 12-13% για κάθε βαθμό C μεγαλύτερο από 37° C (*Mahan, 2000*). Σε σοβαρά αρρώστους με υποσιτισμό ο μετρηθείς BMR διαφέρει (70-140%) από τον εκτιμώμενο.

- ★ **Το Στρες.** Οι ορμόνες που εκκρίνονται κατά το στρες, με πιο σημαντική ανάμεσά τους την αδρεναλίνη, έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του BMR. Έρευνα σε ζώα που τέθηκαν υπό πίεση έδειξε αύξηση κατά 30%. Επίσης, η σοβαρή ή/και παρατεταμένη συναισθηματική πίεση οδηγεί στην αυξημένη απαίτηση O₂ (*Hildesheimer M, 1985*)

- ★ **Η Άσκηση.** Υπάρχουν μελέτες που υποστηρίζουν ότι μέτριας έντασης άσκηση αυξάνει το BMR για λίγα λεπτά έως και λίγες ώρες μετά το πέρας αυτής (*Bahr R, 1992 - Melby C, 1993 - Smith J, 1993 - Quinn TJ, 1994 - Almuzaini KS, 1998*) και μελέτες που υποστηρίζουν ότι η αύξηση αυτή διαρκεί περισσότερο και φτάνει μέχρι και τις 24 ώρες (*Maehlum S, 1986 - Weststrate JA, 1990 - Herring JL, 1992 - Williamson DL, 1997 - Borsheim E, 1998 - Osterberg KL, 2000 - Melanson EL, 2002*). Άλλες πάλι μελέτες δεν παρατήρησαν καμία επίδραση της άσκησης στο BMR (*Freedman-Akabas S, 1985 - Weststrate JA, 1990*) ενώ, όσον αφορά στα αποτελέσματα ερευνών που εξέτασαν τις επιδράσεις άσκησης αντοχής, τα αποτελέσματα είναι διφορούμενα. Υπήρξαν ορισμένες που έδειξαν αύξηση (*Ballor, 1992 - Broeder, 1992 - Whatley, 1994*) και άλλες που υποστηρίζουν ότι το BMR παραμένει αμετάβλητο (*Sjodin, 1996*).

- ★ **Η Περιβαλλοντική θερμοκρασία – Το κλίμα.** Έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε πληθυσμούς των αρκτικών περιοχών αποδεικνύουν ότι το κλίμα επηρεάζει το BMR. Συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί ότι αυτοί οι πληθυσμοί έχουν BMR/kg AMΣ μεγαλύτερο από αυτό των πληθυσμών που ζουν σε εύκρατες περιοχές κατά 5%-20% (*Katzmarzyk PT, 1994 - Rode A, 1995 - Sorensen MV, 1999 - Galloway VA, 2000 - Mahan L.K., 2000*). Οι περισσότερες έρευνες υποστηρίζουν ότι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και το υψόμετρο, προκαλούν τις παρατηρούμενες διαφορές στο BMR ατόμων διαφορετικής καταγωγής και όχι οι λεγόμενες γενετικές διαφορές. Αυτό υποστηρίζεται και από έρευνες που δείχνουν ότι άτομα τροπικής καταγωγής που έχουν μετακομίσει σε εύκρατες περιοχές παρουσιάζουν BMR όμοιο με αυτό των κατοίκων της εύκρατης περιοχής (*Henry CJK,*

1987 - *Ulijaszek SJ, 1991 - Hayter JE, 1993*). Επίσης, ενώ κάτοικοι της Σιβηρίας έχουν μεγαλύτερο BMR/kg AMΣ από τους Ευρωπαίους, Ρώσοι μετανάστες σε εκείνη την περιοχή παρόλο που είχαν έρθει από πιο εύκρατο κλίμα παρουσίασαν το ίδιο αυξημένο BMR (Galloway VA, 2000).

Έτσι η μετανάστευση σε πιο θερμά ή ψυχρά κλίματα οδηγεί σε αλλαγές στο BMR του ατόμου. Σε δύο άτομα που κατοικούσαν στη Μεγάλη Βρετανία παρατηρήθηκε αύξηση του BMR κατά 64% μετά από μια 70ήμερη περίοδο ορειβάσις στην Ανταρκτική. Παρόλο που ένα μέρος της αύξησης αυτής πιθανόν να οφείλονταν σε αλλαγή της σύστασης σώματος λόγω της έντονης φυσικής δραστηριότητας, ένα άλλο μέρος της οφείλονταν στις ακραίες θερμοκρασίες (*Stroud MA, 1987*). Σε υψηλές συγκεκριμένα θερμοκρασίες παρατηρείται αύξηση του BMR λόγω επιτάχυνσης της καρδιαγγειακής λειτουργίας και της παραγωγής ιδρώτα.

★ **Η Εθνικότητα.** Κατά καιρούς έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες με σκοπό να εξετάσουν την επίδραση της εθνικότητας στο BMR. Σε μια μελέτη στην οποία συνέκριναν το BMR 96 Ινδών και 81 Αυστραλών (αντρών και γυναικών) βρέθηκε ότι ο απόλυτος BMR και ο BMR ανά σωματικό βάρος ήταν σημαντικά χαμηλότερος στους Ινδούς. Ωστόσο, ο BMR / AMΣ, δεν ήταν σημαντικά διαφορετικός (*Soares MJ, 1998*). Για να υπάρχει αξιοπιστία σε αυτές τις έρευνες, για την εκτίμηση του BMR χρησιμοποιήθηκε η άλιπη μάζα σώματος και όχι το σωματικό βάρος, έτσι ώστε να αποκλεισθεί η επιρροή της σύστασης σώματος στα αποτελέσματα. Ακόμη, μελέτη που έγινε σε παιδιά από Αφρική και Αμερική (λευκά), κατόπιν διόρθωσης για ηλικία, λιπώδη μάζα και άλιπη μάζα σώματος, έδειξε ότι ο BMR ήταν σημαντικά υψηλότερος στα λευκά παιδιά (~250 kJ/d). Η μελέτη αυτή ουσιαστικά υποστηρίζει ότι υπάρχει εθνική διαφορά στο BMR που δεν ερμηνεύεται από την AMΣ (*Sun M, 2001*). Πολλές μελέτες επίσης υποστηρίζουν ότι οι αφρικανοαμερικάνες γυναίκες έχουν χαμηλότερο BMR συγκριτικά με τις λευκές (*Gannon B, 2000 - Weyer C, 1999 - Sharp T.A., 2002*) και ότι το ίδιο ισχύει και για τους άντρες, με το μέγεθος της διαφοράς στην τιμή του BMR μεταξύ των δύο ομάδων διαφορετικής εθνικότητας να είναι το ίδιο και για τα δύο φύλα.

★ **Η Λιμοκτονία/υποσιτισμός.** Σύμφωνα με αρκετές μελέτες (*Yamashita J, 1989 - Luke A, 1992 - Soares MJ, 1991 - Abdul G Dulloo 1998*) καταστάσεις όπως ο υποσιτισμός ή η νηστεία προκαλούν μείωση του βασικού μεταβολισμού, ως αποτέλεσμα ενός αμυντικού μηχανισμού προσαρμογής του οργανισμού σε μικρότερη διαθεσιμότητα τροφής και κατ' επέκταση και ενέργειας. Για το λόγο αυτό, σε ένα πρόγραμμα απώλειας βάρους παρατηρείται μία σταδιακή

μείωση του ρυθμού απώλειας με το πέρας των ημερών. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι αλλαγές στο βασικό μεταβολικό ρυθμό μετά από πρόγραμμα μείωσης βάρους σε παλιότερες έρευνες.

Πίνακας1.6 .Αλλαγές στο βασικό μεταβολικό ρυθμό μετά από πρόγραμμα μείωσης βάρους.

Πηγή	Μείωση βάρους(kg)	BMR ₁ (kcal/ημέρα)	BMR ₂ (kcal/ημέρα)	Ποσοστό μείωσης
Bessard (1983)	11,7	1661	1432	-13,8%
Schutz (1984)	13,4	2275	1843	-19%
Welle (1984)	10,8	1552	1380	-11,9%

Επίσης σε άλλη έρευνα σε διαβητικούς τύπου 2 παρατηρήθηκε μείωση του BMR κατά 4,1% μετά από μια μείωση βάρους 5,3% . Ανάλογα αποτελέσματα βρέθηκαν και σε μη διαβητικούς παχύσαρκους μετά από βραχυχρόνια μείωση της ενεργειακής τους πρόσληψης. Η μείωση του BMR, η οποία είναι μεγαλύτερη από ότι θα'ταν αν οφειλόταν μόνο στην απώλεια βάρους, μπορεί να προκληθεί και από χαμηλά επίπεδα ορμονών του θυρεοειδούς (*Williams MH, 1976*).

- ★ **Τα Επίπεδα θυρορμονών.** Οι ορμόνες, αποτελούν βασικούς ρυθμιστές της μεταβολικής δραστηριότητας του οργανισμού, με κυριότερες αυτές που εκκρίνονται από τον θυροειδή αδένα. Συγκεκριμένα στον υπερθυρεοειδισμό αυξάνονται η καρδιακή παροχή, η συσταλτικότητα, η πίεση σφυγμού και η ταχυκαρδία και μειώνεται η συστηματική αγγειακή αντίσταση με αποτέλεσμα να παρατηρείται μια αύξηση του BMR έως και 50%. Στην περίπτωση του υποθυρεοειδισμού παρατηρούνται τα αντίθετα φαινόμενα και ο BMR μειώνεται έως και 50% (*Danzi S, 2003*).
- ★ **Το Κάπνισμα** αυξάνει το BMR σε κάποιο βαθμό (*Williams MH, 1976*)
- ★ **Το Υψόμετρο** προκαλεί αύξηση του BMR λόγω της αύξησης της αναπνευστικής συχνότητας (*Williams MH, 1976*)

- ✱ **Ο έμμηνος κύκλος.** Ο BMR μεταβάλλεται κατά τον έμμηνο κύκλο. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια μέση αύξηση περίπου 150 Kcal/day στο δεύτερο μισό του κύκλου (*Webb P, 1986*)
- ✱ **Η καφεΐνη** επιφέρει επίσης σημαντική αύξηση του BMR (*Acheson KJ, 1980 - Higgins HL, 1915 - Dulloo AG, 1989*). Έρευνα έχει δείξει ότι 2-3 φλιτζάνια καφέ αυξάνουν το BMR κατά 10-12% (*Williams MH, 1976*). Επίσης, 8 mg καφεΐνης /kg ΣΒ αυξάνουν το BMR μέχρι και 3 h αργότερα (*Acheson KJ, 1980*).

Εξαιτίας λοιπόν των διακυμάνσεων μεταξύ των ατόμων καθώς και των μεταβολών που συμβαίνουν σε κάθε άτομο ξεχωριστά, ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης ενδέχεται να οδηγήσει σε σημαντικά λάθη (*Horton ES., 1983*). Ακριβής τιμή της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να ληφθεί μόνο με τη μέτρησή της.

✱ 1.4.2 ΤΡΟΦΟΓΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΓΕΝΕΣΗ, ΕΙΔΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ, ΕΙΔΙΚΗ ΤΡΟΦΟΓΕΝΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗ Ή ΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΦΟΓΕΝΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗ

Ένα δεύτερο συστατικό της ενεργειακής κατανάλωσης είναι η μεταβολική απόκριση στην τροφή, γνωστή και ως τροφογενής θερμογένεση, ειδική δυναμική δράση και ειδική ή θερμική τροφογενής επίδραση. Η τροφογενής θερμογένεση αντιπροσωπεύει την επεξεργασία της τροφής από το σώμα. Περιλαμβάνει τις διεργασίες που σχετίζονται με την πέψη, την απορρόφηση, τη μεταφορά, το μεταβολισμό και την αποθήκευση της ενέργειας από την προσλαμβανόμενη τροφή. Η ποσοστιαία αύξηση στην ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με το βασικό μεταβολικό ρυθμό εξαιτίας της τροφογενούς θερμογένεσης έχει υπολογιστεί ότι κυμαίνεται μεταξύ 5%-15% (*Daly JM, 1985 - Owen OE, 1986*). Η τιμή που χρησιμοποιείται συνήθως για τη μεταβολική επίδραση της τροφής είναι το 10% της θερμιδικής αξίας μιας μικτής δίαιτας που καταναλώνεται σε 24 ώρες (*Horton ES., 1983 - Owen OE, 1986*). Ωστόσο, η τροφογενής θερμογένεση δεν αποτελεί σταθερό ποσοστό των προσλαμβανόμενων θερμίδων αλλά ποικίλει ανάλογα με τη χορηγούμενη τροφή και τις γενικότερες διατροφικές συνήθειες των ατόμων στους οποίους γίνονται μετρήσεις (*Horton ES., 1983 - Owen OE, 1986*). Μια μικτή δίαιτα αυξάνει περισσότερο την τροφογενή θερμογένεση, όταν η αναλογία υδατανθράκων προς λίπους είναι υψηλή (*Danforth E., 1985*). Η αύξηση στο μεταβολισμό μετά την πρόσληψη τροφής φαίνεται να φτάνει το μέγιστο της 1 ώρα περίπου μετά το γεύμα και συνήθως, όχι όμως πάντα, χάνεται 4 ώρες μετά το γεύμα (*Food and Nutrition Board, Commission on Life Sciences, National Research Council, 1989*).

✳ 1.4.3 ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

Η επίδραση της φυσικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένων και των νευρικών, ακούσιων κινήσεων ή της άσκησης αποτελεί το συστατικό που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διακύμανση και που μπορεί να μεταβληθεί εύκολα. Παρότι, κατά μέσο όρο, η σωματική δραστηριότητα αποτελεί το 20% έως 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερο σε ένα άτομο που διάγει ιδιαίτερα καθιστική ζωή ή πολύ υψηλότερο σε ένα εξαιρετικά σωματικά δραστήριο άτομο (*Horton ES., 1983 - Ravussin E, Bogardus C., 1992*). Οι παράγοντες εκείνοι που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά την άσκηση, εκτός από τη δραστηριότητα αυτή καθαυτή, περιλαμβάνουν την ένταση, τη διάρκεια και τη συχνότητα με την οποία διεξάγεται η δραστηριότητα, τη σωματική μάζα του ατόμου, την αποδοτικότητά του κατά τη διεξαγωγή της δραστηριότητας, καθώς και επιπλέον κινήσεις που ενδέχεται να συνοδεύουν τη δραστηριότητα. Η ενεργειακή δαπάνη λόγω άσκησης τείνει να μειώνεται με την πάροδο της ηλικίας, γεγονός που σχετίζεται με την μείωση της άλιπης μάζας του σώματος και την αύξηση του λιπώδους ιστού. Οι άντρες γενικώς έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση από τις γυναίκες, εξαιτίας της μεγαλύτερης σωματικής τους επιφάνειας αλλά και της μεγαλύτερης μυϊκής μάζας τους.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η συνήθης άσκηση (Habitual exercise) δεν επηρεάζει σημαντικά την αύξηση του μεταβολικού ρυθμού ανά μονάδα ενεργού ιστού, αλλά προκαλεί 8% έως 14% υψηλότερο μεταβολικό ρυθμό σε άντρες που έχουν μέτρια και υψηλή φυσική δραστηριότητα αντίστοιχα.

➔ Εκτίμηση Ενεργειακής Δαπάνης Λόγω Άσκησης

Για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης λόγω άσκησης υπολογίζεται ο συντελεστής φυσικής δραστηριότητας για όλες τις ηλικιακές ομάδες, εκτός από τα βρέφη και τα μικρά παιδιά. Ο συντελεστής αυτός αντανακλά στο επίπεδο φυσικής δραστηριότητας του ατόμου. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται τα άτομα, ανάλογα με το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας και παρατίθενται στον πίνακα 1.17 που ακολουθεί.

Πίνακας 1.7 Κατηγορίες επιπέδων φυσικής δραστηριότητας (Physical Activity Level Categories: PAL)

Κατηγορία φυσικής δραστηριότητας	Τιμή PAL
Καθιστική ζωή (Sedentary)	1.0-1.39
Ελαφρά δραστηριότητα (Low Active)	1.4-1.59
Μέτριας έντασης δραστηριότητα (Active)	1.6-1.89
Έντονη δραστηριότητα (Very Active)	1.9-2.5

Η *καθιστική ζωή* αναφέρεται σε δραστηριότητες που κατά βάση περιλαμβάνουν ελάχιστη φυσική άσκηση (κάθισμα, γράψιμο, κατανάλωση φαγητού κτλ) καθώς και κάποιες πολύ ελαφρές δραστηριότητες, όπως το αργό περπάτημα και η οδήγηση.

Η *ελαφρά δραστηριότητα* αναφέρεται σε έναν τρόπο ζωής που εκτός από τις πολύ ελαφρές δραστηριότητες της προηγούμενης κατηγορίας περιλαμβάνει και κάποιες επιπλέον ελαφρές δραστηριότητες όπως κάποιες οικιακές δουλειές, γρήγορο περπάτημα και μεταφορά μικρών φορτίων.

Η *μέτριας έντασης δραστηριότητα* αναφέρεται σε έναν τρόπο ζωής που τα άτομα έχουν εντάξει στο ημερήσιο πρόγραμμά τους ήπιας μορφής άσκηση και πιο έντονες δραστηριότητες όπως είναι ο ελαφρός χορός, η ποδηλασία, το τροχάδην, το καθάρισμα σπιτιού, οι δουλειές στον κήπο και ενδεχομένως, και κάποιες έντονες δραστηριότητες όπως το ανέβασμα σκάλας, το τρέξιμο, ο γρήγορος χορός, και σπορ όπως το ποδόσφαιρο και η καλαθοσφαίριση.

Τέλος, η *έντονη δραστηριότητα* αναφέρεται σε έναν τρόπο ζωής που περιλαμβάνει αρκετές έντονες δραστηριότητες. Άτομα που κατατάσσονται σε αυτό τον τύπο δραστηριότητας είναι όλοι όσοι έχουν βαρεία χειρωνακτική εργασία, καθώς και όσοι ασχολούνται εντατικά με τα σπορ και τον αθλητισμό.

Για την εκτίμηση της ενεργειακής δαπάνης λόγω άσκησης χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά και ορισμένοι πίνακες που δίνουν τις χιλιοθερμίδες που καταναλώνονται ανά κιλό σωματικού βάρους ανά λεπτό ή ανά ώρα για ένα μεγάλο αριθμό δραστηριοτήτων. Ο πίνακας 1.8 αποτελεί ένα

παράδειγμα τέτοιου πίνακα και περιέχει διάφορες δραστηριότητες ομαδοποιημένες με βάση το μέσο επίπεδο ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη διεξαγωγή τους.

Πίνακας 1.8. Το Ενεργειακό Κόστος άνω του Βασικού Διαφορετικών Δραστηριοτήτων

Επίπεδο Ενέργειας	Είδος δραστηριότητας	Ενέργεια (kcal/kg/min)	
		Γυναίκες	Άντρες
α	Ύπνος ή ακινησία στο κρεβάτι, χαλάρωση	0,000	0,000
β	Καθιστή ή ακίνητη θέση (όπως κέντημα, γράψιμο, φαγητό)	0,001-0,007	0,003-0,012
γ	Πολύ ήπιας έντασης δραστηριότητα (οδήγηση αυτοκινήτου, αργό βάδισμα σε επίπεδο έδαφος)	0,009-0,016	0,014-0,022
δ	Ήπιας έντασης άσκηση (σκούπισμα, φαγητό, κανονικό βάδισμα, μεταφορά βιβλίων)	0,018-0,035	0,023-0,040
ε	Μέτριας έντασης άσκηση (γρήγορο βάδισμα, χορός, ποδηλασία, έντονο καθάρισμα, μεταφορά επίπλων)	0,036-0,053	0,042-0,060
στ	Υψηλής έντασης άσκηση (γρήγορος χορός, γρήγορο βάδισμα σε ανηφόρα, τένις, κολύμπι)	0,055	0,062

✳ 1.4.4 ΑΛΛΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Ένα επιπλέον σημαντικό συστατικό της ενεργειακής κατανάλωσης είναι η προσαρμοζόμενη θερμογένεση, γνωστή και ως θερμογένεση δίχως ρίγος, δυνητική ή ρυθμιζόμενη θερμογένεση. Ο όρος προσαρμοζόμενη θερμογένεση αναφέρεται στη μεταβολή του μεταβολισμού που είναι αποτέλεσμα περιβαλλοντικών, ψυχολογικών ή άλλων επιρροών. Ορισμένοι από τους πιθανούς παράγοντες που επηρεάζουν την προσαρμοζόμενη θερμογένεση είναι οι ασυνείδητες ή αυθόρμητες κινήσεις ή δραστηριότητες, τα επίπεδα των ορμονών, ανταπόκριση σε μεταβολές στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών ή ενέργειας, οι προσαρμογές σε μεταβολές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας και του συναισθηματικού στρες και η ενεργοποίηση ή καταστολή άσκοπων μεταβολικών κύκλων.

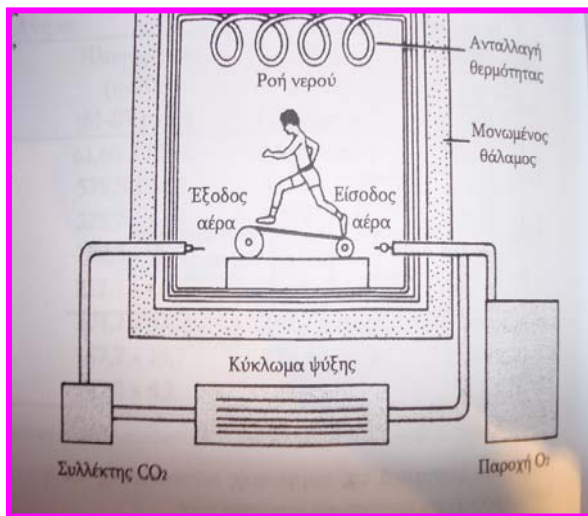
1.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Πως μετράμε τον BMR;

Ο Μεταβολικός Ρυθμός Ηρεμίας παραδοσιακά προσδιορίζεται μέσω άμεσης ή έμμεσης θερμιδομετρίας.

✓ 1.5.1 ΑΜΕΣΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

Η άμεση θερμιδομετρία προϋποθέτει την μέτρηση με ακρίβεια της παραγόμενης θερμότητας ολόκληρου του σώματος χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο και τεχνολογικά πολύπλοκο θερμιδομετρικό θάλαμο. Αυτός ο θάλαμος είναι αεροστεγής και θερμικά μονωμένος έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η εκλυόμενη από τον άνθρωπο θερμότητα κάτω από αμετάβλητες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και συστάσεις του ατμοσφαιρικού αέρα. Η αποβολή της θερμότητας μετράται με βάση την αρχή της ισοθερμίας, ενός συστήματος βαθμιδωτής στοιβάδας ή ενός υδρόψυκτου ενδύματος (*Jequier E, 1987 - Webb P., 1985*). Στο σχήμα 1 δίνεται μια απλοποιημένη μορφή της θερμιδομετρίας στους ανθρώπους βασισμένη στην αρχή της ισοθερμίας. Η συνολική απώλεια θερμότητας αποτελείται από την απώλεια της αισθητής θερμότητας και της θερμότητας από την εξάτμιση του νερού. Στο ισοθερμικό θερμιδόμετρο, η απώλεια της αισθητής θερμότητας



προσδιορίζεται από τη διαφορά στη θερμοκρασία νερού και την ποσότητα νερού που εισρέει και εκρέει από τους σωλήνες που βρίσκονται μέσα στα τοιχώματα του θαλάμου,

όπου έχει τοποθετηθεί το άτομο. Η θερμότητα που απομακρύνεται από την εξάτμιση του νερού υπολογίζεται από την υγρασία του αέρα που εξέρχεται από το θερμιδόμετρο και που απορροφάται από θεικό οξύ. Παρότι η γενική ιδέα της άμεσης θερμιδομετρίας είναι σχετικά απλή, η

άμεση μέτρηση της απώλειας θερμότητας του σώματος έχει, όπως ήδη αναφέραμε, υψηλό κόστος, είναι δύσχρηστη και όχι ευχάριστη για τους εξεταζόμενους καθώς απαιτείται η παραμονή τους στο θερμιδομετρικό θάλαμο για μεγάλο χρονικό διάστημα (>12 ώρες) (*Horton ES., 1983*).

✓ 1.5.2 ΕΜΜΕΣΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ

Η έμμεση θερμιδομετρία καθορίζει τον μεταβολικό ρυθμό από το καταναλισκόμενο οξυγόνο του σώματος. Οι μετρήσεις της κατανάλωσης οξυγόνου παραδοσιακά γίνονταν μέσω μεγάλων σταθερών συσκευών (εργοσπειρόμετρων) υψηλού κόστους, για τη λειτουργία των οποίων απαιτείται περιοδική συντήρηση και καλιμπράρισμα καθώς και εξειδικευμένο προσωπικό. Τα τελευταία όμως χρόνια έχουν εμφανιστεί φορητές ή επιτραπέζιες συσκευές, χαμηλότερου κόστους, βασισμένες σε τεχνολογία αιχμής, οι οποίες μετράνε το καταναλισκόμενο οξυγόνο με ακρίβεια και καθορίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του ατόμου. Η μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου, αντί για τη χρήση εξισώσεων γενικού πληθυσμού, επιτρέπει στους επιστήμονες υγείας και άσκησης να αποφασίζουν με ακρίβεια για τους πελάτες τους. Με μια απλή εξέταση αναπνοής διάρκειας λίγων λεπτών, μετράμε τον μεταβολισμό ώστε να προσδιορίσουμε ένα εξατομικευμένο θερμιδικό ισοζύγιο.

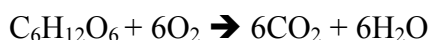
Πίνακας 1.9 Μηχανήματα έμμεσης θερμιδομετρίας

Έμ.θερμιδομετρία	Παραδείγματα	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Εργοσπειρόμετρο	SensorMedics	▪ Αυτόματη ανάλυση της ροής και του όγκου των αερίων ▪ Ικανότητα βαθμονόμησης μηχανήματος πριν από κάθε μέτρηση ▪ Επιτρέπει την λεπτό προς λεπτό παρακολούθηση της μέτρησης ▪ Ευρεία χρήση	▪ Μεγάλο μηχάνημα με περιορισμένη κινητικότητα ▪ Απαιτεί εκπαιδευμένα άτομα για την βαθμονόμηση και την μέτρηση ▪ Απαιτεί τουλάχιστον 30 λεπτά για την βαθμονόμηση και την μέτρηση ▪ Υψηλό κόστος
Handheld device	BodyGem/Med Gem	▪ Μικρό, ελαφρύ, φορητό ▪ Αποτελέσματα σε 8 με 10 λεπτά ▪ Φθηνότερο σε σχέση με το εργοσπειρόμετρο	▪ Έρευνες έδειξαν σημαντική διαφορά από το εργοσπειρόμετρο ($\pm 90\text{kcal}$) ▪ Δεν υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης της μέτρησης (δίνεται μια τελική τιμή στο τέλος της μέτρησης)
Douglas bag	-----	▪ Ιστορικά θεωρείται η χρυσή μέθοδος ▪ Αξιόπιστη, έγκυρη ▪ Χαμηλό κόστος	▪ Πιθανή μόλυνση του αέρα που συλλέγεται ▪ Χρονοβόρα διαδικασία

Η εξέταση διενεργείται το πρωί. Δεν πρέπει να έχουμε πει καφέ ή ακόμα και να έχουμε καπνίσει. Καθόμαστε σε μια αναπνευστική καρέκλα και τοποθετείται στο πρόσωπό μας μια μάσκα. Επί ~20 λεπτά αναπνέουμε και εκπνέουμε κανονικά, και ένα ειδικό μηχάνημα υπολογίζει με βάση το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα, τις καύσεις του σώματός μας. Με άλλα λόγια, η έμμεση θερμιδομετρία μετρά τη θερμότητα που παράγεται από τις οξειδωτικές διαδικασίες. Αν γνωρίζουμε την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώθηκε, την ποσότητα του CO₂ που παρήχθη και τη χημική σύσταση της ουσίας που μεταβολίστηκε, είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την ποσότητα της ενέργειας που μεταβολίστηκε. Η αρχή αυτή εφαρμόζεται σήμερα στην καθημερινή πράξη με τις συσκευές έμμεσης θερμιδομετρίας. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι, εκτός από την ενεργειακή κατανάλωση, μπορούμε επακριβώς να υπολογίσουμε και την ποσότητα και την αναλογία των μακροστοιχείων της διατροφής που οξειδώθηκαν.

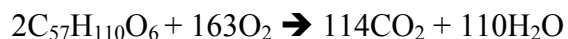
Η ποσότητα της θερμότητας που παράγεται μπορεί να υπολογιστεί από την αναλογία του διοξειδίου του άνθρακα που εκπνέεται προς το οξυγόνο που εισπνέεται. Η αναλογία αυτή είναι γνωστή ως αναπνευστικό πηλίκιο (Respiratory Quotient, RQ)

Η μελέτη του αναπνευστικού πηλίκου παρέχει χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά στη συνολική οξείδωση των ενεργειακών υποστρωμάτων, χωρίς όμως να λαμβάνονται πληροφορίες για κάθε όργανο και ιστό ξεχωριστά (*Jequier E, 1987*). Ένα αναπνευστικό πηλίκιο ίσο με 1,0 υποδηλώνει οξείδωση υδατανθράκων, διότι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την καύση της γλυκόζης ισούται με την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται, σύμφωνα με την εξίσωση:



$$\text{RQ} = 6\text{CO}_2 / 6\text{O}_2 = 1,0$$

Το αναπνευστικό πηλίκιο για το λίπος είναι μικρότερο του 1,0 διότι πρόκειται για λιγότερο οξειδωμένη καύσιμη ύλη. Για παράδειγμα, λίπος όπως η τριστεατίνη, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση, απαιτεί 163 mol οξυγόνου για την παραγωγή 114 mol διοξειδίου του άνθρακα:



$$\text{RQ} = 114\text{CO}_2 / 163\text{O}_2 = 0,70$$

Ο υπολογισμός του αναπνευστικού πηλίκου για την οξείδωση των πρωτεϊνών είναι πιο περίπλοκος, διότι η μεταβολική οξείδωση των αμινοξέων απαιτεί την απομάκρυνση του αζώτου και μίας ποσότητας οξυγόνου και άνθρακα με τη μορφή ουρίας, μιας ένωσης που απεκκρίνεται με τα ούρα. Το άζωτο της ουρίας αντιπροσωπεύει καθαρή απώλεια ενέργειας από το σώμα, καθώς μόνο η υπόλοιπη ανθρακική αλυσίδα του αμινοξέος μπορεί να οξειδωθεί στο σώμα. Η ακόλουθη εξίσωση

περιγράφει την οξείδωση ενός μικρού πρωτεϊνικού μορίου σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό τριοξείδιο του θείου και ουρία:



Το αναπνευστικό πηλίκο αυτού του μικρού πρωτεϊνικού μορίου ισούται με 0,818.

Οι μέσες τιμές 1.0, 0.7 και 0.8 θεωρούνται αντιπροσωπευτικές του αναπνευστικού πηλίκου για τους υδατάνθρακες, το λίπος και τις πρωτεΐνες, αντίστοιχα. Το αναπνευστικό πηλίκο μιας συνηθισμένης μικτής διαίτας που αποτελείται από τα τρία αυτά θρεπτικά συστατικά υπολογίζεται περίπου στο 0,85. Αναπνευστικό πηλίκο 0,82 αντιπροσωπεύει το μεταβολισμό ενός μείγματος 40% υδατανθράκων και 60% λίπους (McArdle WD, 1986). Τιμές αναπνευστικών πηλίκων που υπολογίζονται από ανταλλαγή αερίων και πλησιάζουν το 1,0 ή το 0,7 υποδεικνύουν ότι περισσότεροι υδατάνθρακες ή λίπη, αντίστοιχα, χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμη ύλη. Στην κλινική πράξη, αναπνευστικό πηλίκο μικρότερο από 0,8 υποδεικνύει ότι ο ασθενής υποσιτίζεται, αναπνευστικό πηλίκο μικρότερο από 0,7 υποδεικνύει ότι ο ασθενής λιμοκτονεί ή ακολουθεί δίαιτα πολύ χαμηλή σε υδατάνθρακες ή με υψηλή περιεκτικότητα σε αλκοόλ, ενώ αναπνευστικό πηλίκο μεγαλύτερο από 1,0 υποδεικνύει λιπογένεση (Jequier E, 1987).

Πίνακας 1.10. Ερμηνεία τιμών αναπνευστικού πηλίκου

Υπόστρωμα που χρησιμοποιείται	RQ
Αιθανόλη	0,67
Οξείδωση λίπους	0,71
Οξείδωση πρωτεΐνης	0,82
Μεικτή οξείδωση υποστρωμάτων	0,85
Οξείδωση υδατάνθρακα	1,0
Λιπογένεση	1,0-1,2

Μετά τον υπολογισμό του αναπνευστικού πηλίκου, ο υπολογισμός της παραγωγής θερμότητας είναι σχετικά απλός. Στον πίνακα 1.11 που ακολουθεί δίνεται η θερμιδική αξία 1 L οξυγόνου και 1 L διοξειδίου του άνθρακα. Όταν καθοριστεί η ποσότητα του οξυγόνου

και/ή του διοξειδίου του άνθρακα στην ανταλλαγή, μπορεί να υπολογιστεί η συνολική θερμιδική αξία.

Επίσης, είναι εφικτός, όπως ήδη αναφέραμε, και ο προσδιορισμός της ποσότητας υδατανθράκων και λίπους που οξειδώνεται για την παραγωγή των θερμίδων αυτών.

Για παράδειγμα, εάν υπό τυποποιημένες συνθήκες για τον προσδιορισμό του βασικού μεταβολικού ρυθμού, ένα άτομο κατανάλωσε 15,7 L οξυγόνο/ώρα και παρήγαγε 12,0 L διοξειδίου του άνθρακα, το αναπνευστικό πηλίκο είναι 12,0/15,7 ή 0,7643. Από τον πίνακα 1.11, το θερμιδικό ισοδύναμο για αναπνευστικό πηλίκο 0,76 είναι 4,751 για 1 L οξυγόνου ή 6,253 για 1 L διοξειδίου

του άνθρακα. Με βάση το θερμιδικό ισοδύναμο του οξυγόνου, οι θερμίδες που παράγονται ανά ώρα είναι $15,7 \times 4,751=74,59$. Με βάση το θερμιδικό ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα, οι θερμίδες που παράγονται ανά ώρα είναι $12,0 \times 6,253=75,04$. Εάν στη συνέχεια χρησιμοποιήσουμε ως θερμιδική κατανάλωση τις 75 kcal/ώρα, τότε υπό βασικές συνθήκες, ο βασικός μεταβολικός ρυθμός της ημέρας είναι περίπου 1800 kcal ($75 \text{ kcal/ώρα} \times 24 \text{ ώρες}$). Πολλές φορές για τη μετατροπή των VO_2 και VCO_2 σε μονάδες ενεργειακής κατανάλωσης χρησιμοποιείται και η απλοποιημένη εξίσωση του Weir:

$$Kcal/min=(3.9*VO_2)+(1.1*VCO_2)$$

από την οποία προκύπτει και πάλι το ίδιο αποτέλεσμα για το παραπάνω παράδειγμα:

$$\begin{aligned} Kcal/min &= (3.9*VO_2) + (1.1*VCO_2) \\ &= (3.9*15,7) + (1.1*12,0) \\ &= 61,23 + 13,2 \\ &= 74,43 \end{aligned}$$

Πίνακας 1.11. Θερμικό ισοδύναμο O₂ και CO₂ για μη Πρωτεϊνικό Αναπνευστικό Πηλίκιο

Μη πρωτεϊνικό αναπνευστικό πηλίκιο	Θερμιδική αξία 1 L O ₂	Θερμιδική αξία 1 L CO ₂	Υδατάνθρακες (%)	Λίπος (%)
0,707	4,686	6,629	0	100
0,71	4,690	6,606	1,10	98,9
0,72	4,702	6,531	4,76	95,2
0,73	4,714	6,458	8,40	91,6
0,74	4,727	6,388	12,0	88,0
0,75	4,739	6,319	15,6	84,4
0,76	4,751	6,253	19,2	80,8
0,77	4,764	6,187	22,8	77,2
0,78	4,776	6,123	26,3	73,7
0,79	4,788	6,062	29,9	70,1
0,80	4,801	6,001	33,4	66,6
0,81	4,813	5,942	36,9	63,1
0,82	4,825	5,884	40,3	59,7
0,83	4,838	5,829	43,8	56,2
0,84	4,850	5,774	47,2	52,8
0,85	4,862	5,721	50,7	49,3
0,86	4,875	5,669	54,1	45,9
0,87	4,887	5,617	57,5	42,5
0,88	4,899	5,568	60,8	39,2
0,89	4,911	5,519	64,2	35,8
0,90	4,924	5,471	67,5	32,5
0,91	4,936	5,424	70,8	29,2
0,92	4,948	5,378	74,1	25,9
0,93	4,961	5,333	77,4	22,6
0,94	4,973	5,290	80,7	19,3
0,95	4,985	5,247	84,0	16,0
0,96	4,998	5,205	87,2	12,8
0,97	5,010	5,165	90,4	9,58
0,98	5,022	5,124	93,6	6,37
0,99	5,035	5,085	96,8	3,18
1,00	5,047	5,047	100	0

✓ 1.5.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΠΛΑ ΣΕΣΗΜΑΣΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Μια άλλη μέθοδος προσδιορισμού του βασικού μεταβολικού ρυθμού είναι η τεχνική του διπλά σεσημασμένου νερού το οποίο περιέχει σταθερά ισότοπα υδρογόνου και οξυγόνου ($^2\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$). Αυτή είναι μια ασφαλής διαδικασία, καθώς τα ισότοπα είναι σταθερά και δεν εκπέμπουν καθόλου ραδιενέργεια. Στη μέθοδο αυτή χορηγείται στον ασθενή μικρή ποσότητα $^2\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$ και η ανάλυση δειγμάτων ούρων και αίματος παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την απέκκριση ^2H και ^{18}O (ASPEN, 2001). Τα σταθερά ισότοπα του οξυγόνου απομακρύνονται από το σώμα ως νερό και διοξείδιο του άνθρακα, ενώ το υδρογόνο απομακρύνεται μόνο ως νερό. Με την αφαίρεση των απωλειών υδρογόνου από τις απώλειες οξυγόνου παρέχεται μια μονάδα μέτρησης της διακύμανσης διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε ενεργειακή δαπάνη. Παρότι είναι ακριβή, αυτή η τεχνική έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άτομα ενώ εκτελούν τις συνηθισμένες καθημερινές δραστηριότητές τους και δε χρειάζεται να περιοριστούν σε έναν μεταβολικό θάλαμο ή να τους προσαρτηθεί κάποιος εξοπλισμός για να μετρηθεί η κατανάλωση οξυγόνου.

1.6 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ

Όταν διαχειριζόμαστε τις διατροφικές απαιτήσεις ενός πελάτη ή ασθενή η γνώση του BMR είναι ουσιώδης. Από το 1925 περίπου, στην κλινική πρακτική γίνεται συνήθως υπολογισμός και όχι μέτρηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού ή της ενεργειακής δαπάνης ηρεμίας. Σε όλο αυτό το διάστημα έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές διαφορετικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών. Οι μέθοδοι αυτές έχουν βασιστεί στην επιφάνεια του σώματος, το σωματικό βάρος και/ή υπολογισμούς από εξισώσεις που λαμβάνουν υπόψη τους το φύλο, την ηλικία, το βάρος και το ύψος του ατόμου.

Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί περισσότερες από 190 εξισώσεις για την πρόβλεψη των ενεργειακών απαιτήσεων κατά την ηρεμία όταν είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του ατόμου. Οι εξισώσεις αυτές προέκυψαν από μετρήσεις άμεσης ή έμμεσης θερμιδομετρίας σε διάφορους πληθυσμούς, και καθιερώθηκαν ως η πλέον εύχρηστη μέθοδος υπολογισμού του BMR μιας και βασίζονται σε ανθρωπομετρικά δεδομένα (βάρος, ύψος, ηλικία) που μπορούν να μετρηθούν πολύ εύκολα χωρίς κανένα κόστος (Frankenfield D., 2005).

Επειδή όμως ο μεταβολισμός είναι διαφορετικός μεταξύ των ατόμων, οι εκτιμήσεις οδηγούν πολύ συχνά σε λάθη και μη ακριβή θερμιδικά ισοζύγια. Σαν αποτέλεσμα αυτών των εκτιμήσεων μπορεί οι πελάτες μας να υπερσιτίζονται ή να υποσιτίζονται, να μην επιτυγχάνουν τους στόχους τους και να απογοητεύονται. Έχει βρεθεί από έρευνες ότι η χρήση εξισώσεων μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις έως και 40%. Είναι λοιπόν πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε σε ποιες περιπτώσεις η κάθε εξίσωση δίνει περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα, όπως και να έχουμε πάντα υπόψη ότι ο πληθυσμός από τον οποίον προέκυψε η κάθε εξίσωση δεν ταιριάζει πάντα και στον ίδιο βαθμό με τον πληθυσμό στον οποίο εφαρμόζεται (*Da Rocha, 2005*).

Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εξισώσεις προσδιορισμού του βασικού μεταβολικού ρυθμού.

Harris and Benedict (1919)

- Άνδρες (kcal) $RMR = 66.47 + (13.75 \cdot B) + (5 \cdot Y) - (6.75 \cdot H)$
- Γυναίκες (kcal) $RMR = 665.09 + (9.56 \cdot B) + (1.84 \cdot Y) - (4.67 \cdot H)$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Y = ύψος σε cm

H = ηλικία σε έτη

Οι εξισώσεις των Harris-Benedict δημιουργήθηκαν το 1919 ύστερα από μελέτη 10 χρόνων και βασίστηκαν σε 167 άντρες ηλικίας 16-63 χρόνων και 103 γυναίκες ηλικίας 15-74 ετών, με BMI που κυμαινόταν από 12,3 kg/m² μέχρι 32,5 kg/m² (*Reeves MM, 2003 - Frankenfield DC, 1998*). Το γεγονός ότι μόλις ένα 5% των υποκειμένων είχε BMI>30 kg/m² αποτελεί μειονέκτημα των εξισώσεων αυτών καθώς δεν έλαβαν σχεδόν καθόλου υπόψη τους παχύσαρκα άτομα.

Παρά το γεγονός ότι η βιβλιογραφία αναφέρει την εξίσωση Harris and Benedict ως αντιπροσωπευτική του βασικού μεταβολικού ρυθμού, στην πραγματικότητα, οι μετρήσεις έλαβαν χώρα κάτω από συνθήκες ηρεμίας.

Επειδή η εξίσωση αυτή είναι η παλαιότερη από αυτές που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού είναι και αυτή που έχει υποστεί τη μεγαλύτερη και πιο εκτεταμένη αξιολόγηση. Στις σελίδες 30-35 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από τις μελέτες που

πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση της εξίσωσης αυτής και τα αποτελέσματά τους. Με την εξίσωση Harris and Benedict, ακριβής μέτρηση του BMR σε όλες τις μελέτες που έγιναν για την αξιολόγησή της πραγματοποιήθηκε στο 45-80% των ατόμων και υπερεκτίμηση των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε περισσότερες φορές απ'ότι υποεκτίμηση. Οι εξισώσεις αυτές κατά γενική ομολογία υπερεκτιμούν το BMR από 7% μέχρι 24% (*Daly JM, 1985 - Owen OE, 1987*).

Ο Frankelfield και οι συνεργάτες του (*Frankelfield DC, 1998*) αναδημιούργησαν τις Harris-Benedict εξισώσεις κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μικρύνουν την πιθανότητα υπερεκτίμησης του BMR χωρίς να επηρεαστεί η ακρίβεια των εξισώσεων. Το αποτέλεσμα είναι το ακόλουθο:

$$\text{Άνδρες (kcal)} \quad \text{RMR} = 65 + (13.40 \cdot B) + (4.96 \cdot Y) - (5.82 \cdot H)$$

$$\text{Γυναίκες (kcal)} \quad \text{RMR} = 447 + (9.25 \cdot B) + (3.10 \cdot Y) - (4.33 \cdot H)$$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Y = ύψος σε cm

H = ηλικία σε έτη

Το σωματικό βάρος εξηγεί την αιτία της 75% μεταβλητότητας του BMR (*Frankelfield DC, 1998*). Ο Benedict, σύμφωνα με το άρθρο που γράφτηκε από τον Frankelfield και συνεργάτες, (*Frankelfield DC, 1998*), πίστευε ότι η μυϊκή μάζα παρά το ολικό σωματικό βάρος είναι η πιο προγνωστική ποσότητα για το BMR, και ότι το ολικό σωματικό βάρος είναι προγνωστικό του BMR εξαιτίας της ισχυρής συνδιακύμανσης με τη μυϊκή μάζα. Αυτό υποδηλώνει ότι οι εξισώσεις αυτές γίνονται προβληματικές όταν εφαρμόζονται για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών παχύσαρκων ασθενών που έχουν υψηλά ποσοστά σωματικού λίπους και χαμηλά ποσοστά μυϊκής μάζας. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει πολλή σκέψη για το εάν στις εξισώσεις θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το παρόν βάρος του ασθενούς, το ιδανικό βάρος (ΙΣΒ), ή κάποιο ενδιάμεσο βάρος. Έχει προταθεί πως εάν χρησιμοποιηθεί το παρόν βάρος στις εξισώσεις, τότε ο ασθενής θα διατηρήσει το υπερβάλλον βάρος (*Briony Thomas, 2001*) ενώ εάν χρησιμοποιηθεί το ΙΣΒ στις εξισώσεις, τότε ο ασθενής θα χάσει βάρος με κίνδυνο όμως να μην επουλώνονται τυχούσες πληγές και να μην έχει καλή ανοχή στο ζάχαρο. Για τους παραπάνω λόγους έχει προταθεί να χρησιμοποιείται το «προσαρμοσμένο βάρος» στις εξισώσεις που εκτιμούν τις ενεργειακές ανάγκες σε παχύσαρκους ασθενείς (*Frankelfield DC, 1998*), όπου:

$$\text{Προσαρμοσμένο βάρος (kg)} = (\text{Παρόν βάρος} - \text{ΙΣΒ})/2$$

Ερευνητής, χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής ² πρόβλεψη	Μέγιστο σφάλμα ³
Arciero and colleagues, 1993	50-78 ετών 89 Α	Μη παχύσαρκοι-παχύσαρκοι 8%-33% σωματικό λίπος	Ø	ΟΧΙ (βαθμονόμηση, steady state)	ME	ME	Αδύνατοι- παχύσαρκοι: 19% υποεκτίμηση -9% υπερεκτίμηση
Arciero and colleagues, 1993	50-81 ετών 75 Γ	Μη παχύσαρκοι-παχύσαρκοι 20%-43% σωματικό λίπος	Ø	ΟΧΙ (βαθμονόμηση, steady state)	ME	ME	Αδύνατοι- παχύσαρκοι: 27% υποεκτίμηση- 12% υπερεκτίμηση
Case and colleagues, 1997	21-33 ετών 89 Γ	Μη παχύσαρκοι 17-29	Ø	ΟΧΙ (διάρκεια)	ME	ME	ME
Daly and colleagues, 1985	22-52 ετών 35 Α(Emory)	Μη παχύσαρκοι: 95%-122% του ΙΣΒ	Ø	ΟΧΙ (εξειδίκευση, διάρκεια, άσκηση)	ME	ME	ME
	24-35 ετών 24 Α (Sloan-Kettering)	95%-117% του ΙΣΒ					
	29-53 ετών 39 Γ (Emory)	92%-123% του ΙΣΒ					
	23-34 ετών 29 Γ (Sloan- Kettering)	86%-117% του ΙΣΒ					

Ερευνητής , χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής ² πρόβλεψη	Μέγιστο Σφάλμα ³
DeLorenzo and colleagues, 2001	18-59 ετών 127 Α 193 Γ	Μη παχύσαρκοι-παχύσαρκοι: Α:18-59 Γ:19-39	+	ΝΑΙ	ΜΕ	ΜΕ	ΜΕ
Feurer and colleagues, 1984 Υγιή άτομα μόνο	21-32 ετών 20 Α 22-30 ετών 52 Γ	Μη παχύσαρκοι: Α: 94%-117% του ΙΣΒ Γ:95%-113% του ΙΣΒ	-	ΟΧΙ (άσκηση, νηστεία)	Μη παχύσαρκοι: 80%-81% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκ οι: 0% υποεκτίμη ση έως 10% υπερεκτίμ ηση	Μη παχύσαρκοι: Α: 10% υποεκτίμηση έως 19% υπερεκτίμηση; Γ: 6% υποεκτίμηση έως 18% υπερεκτίμηση
Feurer and colleagues, 1983	26-47 ετών 18 Α 32-46 ετών 94 Γ	Παχύσαρκοι: Α: 176%-246% του ΙΣΒ Γ:178%-264% του ΙΣΒ	Ø	ΟΧΙ (νηστεία)	Παχύσαρκοι: 39% 10% εντός ±10% του BMR	Παχύσαρκ οι: 9%υποεκτί μηση έως 52% υπερεκτίμ ηση	Παχύσαρκοι:65% υποεκτίμηση έως 43% υπερεκτίμηση

Ερευνητής , χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο Σφάλμα ³
Foster and colleagues, 1988	32-52 ετών 80 Γ	Παχύσαρκοι: 32-46	Ø	ΟΧΙ (άσκηση, νηστεία)	Παχύσαρκοι: 59% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Παχύσαρκ οι: 21% υποεκτίμη ση έως 20% υπερεκτίμ ηση	ME
Frankefield and colleagues, 2003	20-78 ετών 130 Α,Γ 83 μη παχύσαρκοι 47 παχύσαρκοι	Μη παχύσαρκοι: 16-30 Παχύσαρκοι: 31-99	+	NAI	Μη παχύσαρκοι: 69% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε Παχύσαρκοι: 64% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκ οι: 4% υποεκτίμη ση έως 27% υπερεκτίμ ηση Παχύσαρκ οι: 6% υποεκτίμη ση έως 30% υπερεκτίμ ηση	Μη παχύσαρκοι: 15% υποεκτίμηση έως 20% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 28% υποεκτίμηση έως 28% υπερεκτίμηση

Ερευνητής , χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Fredrix and colleagues, 1990	55-71 ετών 18 Α 59-73 ετών 22 Γ	Αδύνατοι- παχύσαρκοι: 24-29 23-33	Ø	OXI (εξειδίκευση, Steady state)	ME	ME	ME
Garrel and colleagues, 1996	18-33 ετών 67 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι: 20- 26	+	NAI	ME	ME	ME
Heshka and colleagues, 1993	29-49 ετών 53 Α	Υπέρβαροι- παχύσαρκοι: 28-56	Ø	OXI (βαθμονόμηση, εξειδίκευση, Steady state, άσκηση)	ME	ME	ME
Heshka and colleagues, 1993	27-50 ετών 73 Γ	Μη παχύσαρκοι- παχύσαρκοι: 24-56	Ø	OXI (βαθμονόμηση, εξειδίκευση, Steady state, άσκηση)	ME	ME	ME
Hirano and colleagues, 2001	19-38 ετών 19 Γ	Υπέρβαροι- παχύσαρκοι: 26-59	+	NAI	ME	ME	ME
Liu and colleagues, 1993	29-59 ετών 223 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι: 19- 25	Ø	OXI (βαθμονόμηση)	ME	ME	ME

Ερευνητής , χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Mifflin-St.Jeor et al., 1990	19-76 ετών 498 Α,Γ	Μη παχύσαρκοι- παχύσαρκοι: 19-42	+	NAI	ME	ME	ME
Owen and colleagues, 1987	18-82 ετών 60 Α	Μη παχύσαρκοι: 20,4-29,9 Παχύσαρκοι: 30,4- 60,5	+	NAI	Μη παχύσαρκοι: 68% εντός ±10% του RMR που μετρήθηκε Παχύσαρκοι: 38% εντός ±10% του RMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκοι: 2% υποεκτίμηση έως 30% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 6% υποεκτίμησηd έως 56% υπερεκτίμηση	Μη παχύσαρκοι: 23% υποεκτίμηση έως 39% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 25% υποεκτίμηση έως 38% υπερεκτίμηση
Owen and colleagues, 1986	18-65 ετών 44 Γ	Μη παχύσαρκοι: 18,2-29,3 Παχύσαρκοι: 18-50	+	NAI	Μη παχύσαρκοι: 45% Παχύσαρκοι: 38% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκοι: 0% υποεκτίμηση έως 55% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 0% υποεκτίμ.έως 62 % υπερεκτίμηση	Μη παχύσαρκοι: 7% υποεκτίμηση έως 42 % υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 7% υποεκτίμ. έως 35 % υπερεκτίμηση

Ερευνητής , χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Pavlou and colleagues, 1986	30-60 ετών 31 Α	Μη παχύσαρκοι- παχύσαρκοι: 25%- 48% λίπωδης μάζα	+	NAI	Μη παχύσαρκοι έως παχύσαρκοι: 64% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκοι έως παχύσαρκοι: 0% υποεκτίμηση έως 36% υπερεκτίμηση	Μη παχύσαρκοι έως παχύσαρκοι: 19% υποεκτίμηση έως 35% υπερεκτίμηση
Scalfi and colleagues, 1993	18-32 ετών 104 Γ 74 μη παχύσαρκοι 30 παχύσαρκοι	Μη παχύσαρκοι: 19- 29 Παχύσαρκοι: 30-42	+	NAI	ME	ME	ME
Siervo and colleagues, 2003	18-31 ετών 157 Γ	Μη παχύσαρκοι: 21- 25 Υπέρβαροι: 26-29 Παχύσαρκοι: 31-39	+	NAI	ME	ME	ME
Taaffe and colleagues, 1995	60-82 ετών 116 Γ	Μη παχύσαρκοι- παχύσαρκοι: 19-39	+	NAI	ME	ME	ME
Van der Ploeg and colleagues, 2002	31-59 ετών 41 Α	Μη παχύσαρκοι- παχύσαρκοι: 20-32	+	NAI	ME	ME	ME

Ερμηνεία συμβόλων

***A**= άνδρας, **Γ**= γυναίκα, **ME**= μη εφαρμόσιμο (not applicable), **BMI**=δείκτης μάζας σώματος

Ποιότητα έρευνας:

- = δείχνει ότι μεγάλο μέρος του σχεδιασμού της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής δεν καλύφθηκαν

Ø = δείχνει ότι ο σχεδιασμός της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής δεν ήταν ισχυρά ή δεν εφαρμόστηκε κατά γράμμα το πρωτόκολλο έμμεσης θερμιδομετρίας ή περιείχε κινδύνους που οδηγούν σε μη ακρίβεια/ορθότητα της έρευνας.

+ = δείχνει ότι ο σχεδιασμός της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής επιτελέστηκαν σωστά

¹ Ποσοστό όλων των ατόμων του δείγματος, των οποίων ο εκτιμώμενος από την εξίσωση Harris and Benedict BMR ήταν μεταξύ 90-110% του μετρημένου BMR.

² Ποσοστό όλων των ατόμων του δείγματος, των οποίων ο εκτιμώμενος από την εξίσωση Harris and Benedict BMR ήταν <90% ή >110% του μετρημένου BMR.

³ Η μικρότερη και μεγαλύτερη εκτίμηση ως ποσοστό του μετρημένου BMR.

Πίνακας 1.12. Έρευνες αξιολόγησης της εξίσωσης Harris & Benedict

Mifflin-St. Jeor (1990)

- Άνδρες (kcal) $RMR = (9.99*B) + (6.25*Y) - (4.92*H) + 5$
- Γυναίκες (kcal) $RMR = (9.99*B) + (6.25*Y) - (4.92*H) - 161$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Y = ύψος σε cm

H = ηλικία σε έτη

Οι εξισώσεις των Mifflin-St. Jeor δημοσιεύτηκαν το 1990 και προέκυψαν από δεδομένα 498 υγιών εθελοντών, περιλαμβανομένων γυναικών (n = 247) και αντρών (n = 251), ηλικίας 19-78 ετών. Μελετήθηκαν άτομα φυσιολογικού σωματικού βάρους, υπέρβαρα, παχύσαρκα και σοβαρά παχύσαρκα. Η εθνική προέλευση του δείγματος δεν είναι γνωστή και η συμμετοχή ηλικιωμένων (75-84 ετών) ήταν περιορισμένη.

Μεγάλο πλεονέκτημα των εξισώσεων αυτών αποτελεί το γεγονός ότι ακόμα και στην περίπτωση παχύσαρκων ατόμων χρησιμοποιείται πάντα το παρόν και όχι το προσαρμοσμένο βάρος.

Μια μελέτη (*Frankefield DC, 2003*) που συνέκρινε τον υπολογισμένο βασικό μεταβολικό ρυθμό με τις δύο μεθόδους και με έμμεση θερμιδομετρία σε 130 μη νοσηλευόμενους εθελοντές υπέδειξε ότι οι εξισώσεις Mifflin προέβλεψαν το BMR με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις εξισώσεις Harris-Benedict τόσο σε άτομα με φυσιολογικό βάρος όσο και σε παχύσαρκους. Επίσης, σε έρευνα υψηλής εγκυρότητας που εφαρμόστηκε η εξίσωση των Mifflin-St Jeor σε δείγμα 83 ενηλίκων ηλικίας 18-78 ετών, φυσιολογικού βάρους, βρέθηκε ότι στο 82% των περιπτώσεων η εκτίμηση του BMR ήταν εντός του $\pm 10\%$ του BMR που είχε μετρηθεί με έμμεση θερμιδομετρία (*Frankefield DC, 2003*).

Στις σελίδες 38-40 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση της εξίσωσης Mifflin-St. Jeor και τα αποτελέσματά τους.

Συγγραφέας, χρονιά	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα της έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Arciero and colleagues, 1993	50-78 ετών 89 Α	Αδύνατοι-παχύσαρκοι: 8%-33% σωματικό λίπος	Ø	OXI (βαθμονόμηση, steady state)	ME	ME	18% υποεκτίμηση έως 5% υπερεκτίμηση
Arciero and colleagues, 1993	50-81 ετών 75 Γ	Αδύνατοι-παχύσαρκοι: 20%-43% σωματικό λίπος	Ø	OXI (βαθμονόμηση, steady state)	ME	ME	31% υποεκτίμηση έως 7% υπερεκτίμηση
DeLorenzo and colleagues, 2001	18-59 ετών 127 Α 193 Γ	Αδύνατοι-παχύσαρκοι: Α: 18-59 Γ: 19-39	+	NAI	ME	ME	ME
Frankefield and colleagues, 2003	20-78 ετών 130 Α, Γ 83 μη παχύσαρκοι 47 παχύσαρκοι	Μη παχύσαρκοι: 16-30 Παχύσαρκοι: 31-99	+	NAI	Μη παχύσαρκοι: 82% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε Παχύσαρκοι: 70% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκοι: 8% υποεκτίμηση έως 10% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 21% υποεκτίμηση έως 9% υπερεκτίμηση	Μη παχύσαρκοι: 18% υποεκτίμηση έως 15% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 20% υποεκτίμηση έως 15% υπερεκτίμηση

Συγγραφέας, χρονιά	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα της έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Siervo and colleagues, 2003	18-31 ετών 157 Γ	Μη παχύσαρκοι: 21-25 Υπέρβαροι: 26-29	+	NAI	ME	ME	ME
Taaffe and colleagues, 1995	60-82 ετών 116 Γ	Παχύσαρκοι: 31-39 Μη παχύσαρκοι-παχύσαρκοι: 19-39	+	NAI	ME	ME	ME
Garrel and colleagues, 1996	18-33 ετών 67 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι: 20-26	-	NAI	?	ME	ME
Heshka and colleagues, 1993	29-49 ετών 53 Α	Υπέρβαροι έως παχύσαρκοι 28-56	Ø	OXI (βαθμονόμηση, εξειδίκευση Steady state, άσκηση)	ME	ME	ME

Ερευνητής , χρονολογία	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα της έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Heshka and colleagues,1993	27-50 ετών 73 Γ	Μη παχύσαρκοι- παχύσαρκοι: 24-56	Ø	OXI (βαθμονόμη- ση, εξειδίκευση Steady state, άσκηση)	ME	ME	ME
Liu and colleagues, 1993	29-59 ετών 223 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι: 19-25	Ø	OXI (βαθμονόμηση)	ME	ME	ME
Scalfi and colleagues, 1993	18-32 ετών 74 Γ	Αδύνατοι έως υπέρβαροι: 19-29 Παχύσαρκοι: 30-42	+	NAI	ME	ME	ME

Ερμηνεία συμβόλων

***A**= άνδρας, **Γ**= γυναίκα, **ME**= μη εφαρμόσιμο (not applicable), **BMI**=δείκτης μάζας σώματος

Ποιότητα έρευνας:

- = δείχνει ότι μεγάλο μέρος του σχεδιασμού της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής δεν καλύφθηκαν

Ø = δείχνει ότι ο σχεδιασμός της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής δεν ήταν ισχυρά ή δεν εφαρμόστηκε κατά γράμμα το πρωτόκολλο έμμεσης θερμιδομετρίας ή περιείχε κινδύνους που οδηγούν σε μη ακρίβεια/ορθότητα της έρευνας.

+ = δείχνει ότι ο σχεδιασμός της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής επιτελέστηκαν σωστά

¹ Ποσοστό όλων των ατόμων του δείγματος, των οποίων ο εκτιμώμενος από την εξίσωση Harris and Benedict BMR ήταν μεταξύ 90-110% του μετρημένου BMR.

² Ποσοστό όλων των ατόμων του δείγματος, των οποίων ο εκτιμώμενος από την εξίσωση Harris and Benedict BMR ήταν <90% ή >110% του μετρημένου BMR.

³ Η μικρότερη και μεγαλύτερη εκτίμηση ως ποσοστό του μετρημένου BMR.

Πίνακας 1.13. Έρευνες αξιολόγησης της εξίσωσης Mifflin-St.Jeor

- Άνδρες: $RMR = 879 + 10.2 \times B$
- Γυναίκες: $RMR = 795 + 7.18 \times B$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Η εξίσωση του Owen που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού των ανδρών βασίστηκε σε ένα δείγμα μεγέθους 60 ατόμων, ηλικίας 18-82 χρόνων και περιλάμβανε 24 μη παχύσαρκους, 11 παχύσαρκους και 5 εξαιρετικά παχύσαρκους άνδρες (Owen *OE*, 1987). Η εξίσωση των γυναικών αναπτύχθηκε από ένα δείγμα 44 γυναικών, ηλικίας 18-65 χρόνων και περιλάμβανε γυναίκες από όλες τις κατηγορίες βάρους. 1 χαμηλού σωματικού βάρους, 23 φυσιολογικού, 4 αυξημένου σωματικού βάρους, 10 παχύσαρκες και 6 εξαιρετικά παχύσαρκες γυναίκες. Οκτώ από τις γυναίκες ήταν εκπαιδευμένες αθλήτριες αλλά αυτές οι γυναίκες δε χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της εξίσωσης. Σοβαρό μειονέκτημα των εξισώσεων Owen είναι το γεγονός ότι το δείγμα των γυναικών απ' το οποίο προήλθε η αντίστοιχη εξίσωση δεν περιλάμβανε καθόλου ηλικιωμένες γυναίκες ενώ, στο δείγμα των ανδρών η συμμετοχή ηλικιωμένων δεν ήταν αντιπροσωπευτική. Η εθνική προέλευση των γυναικών της μελέτης δεν αναφέρεται ενώ, γνωρίζουμε ότι το δείγμα των ανδρών περιλάμβανε λευκούς, έγχρωμους και Ασιάτες.

Οι μελέτες που διεξήχθησαν για την αξιολόγηση των εξισώσεων Owen παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί στις επόμενες σελίδες. Σε μια μελέτη υψηλής εγκυρότητας, η εξίσωση Owen κατέληξε για το 73% των ατόμων σε τιμές που βρίσκονταν στο $\pm 10\%$ του πραγματικού BMR (Frankfield *DC*, 2003). Υποεκτίμηση πραγματοποιήθηκε στο 21% των περιπτώσεων με τη μεγαλύτερη να φτάνει στο 24% του πραγματικού BMR και υπερεκτίμηση στο 6% των περιπτώσεων με τη μεγαλύτερη να αγγίζει το 28% του πραγματικού BMR.

Συγγραφέας, χρονιά	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Arciero and colleagues, 1993	50-81 ετών 75 Γ 18-33 ετών 29 Α	Μη παχύσαρκοι-παχύσαρκοι: 20%-43% σωματικό λίπος	Ø	OXI (βαθμονόμηση, Steady state)	ME	ME	27% υποεκτίμηση έως 12% υπερεκτίμηση
Clark and Hoffer, 1991	18-33et ετών 29 Γ	Μη παχύσαρκοι: 18-30	Ø	NAI	ME	ME	ME
DeLorenzo and colleagues, 2001	18-59 ετών 127 Α 193 Γ	Μη παχύσαρκοι-παχύσαρκοι: Α: 18-59 Γ: 19-39	+	NAI	ME	ME	ME
Frankefield and colleagues, 2003	20-78 ετών 83 Α,Γ	Μη παχύσαρκοι: 16-30 Παχύσαρκοι: 31-99	+	NAI	Μη παχύσαρκοι: 73% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε Παχύσαρκοι: 51% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	Μη παχύσαρκοι: 21% υποεκτίμηση έως 6% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 43% υποεκτίμηση έως 6% υπερεκτίμηση	Μη παχύσαρκοι: 24% υποεκτίμηση έως 28% υπερεκτίμηση Παχύσαρκοι: 37% υποεκτίμηση έως 15% υπερεκτίμηση

Συγγραφέας, χρονιά	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Fredrix and colleagues, 1990	55-71 ετών 18 Α 59-73 ετών 22 Γ	Μη παχύσαρκοι: Α: 24-29 Γ: 23-33	Ø	OXI (εξειδίκευση Steady state)	ME	ME	ME
Garrel and colleagues, 1996	18-33 ετών 67 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι: 20-26	-	NAI	Μη παχύσαρκοι: 80% εντός ±10% του BMR που μετρήθηκε	ME	ME
Heshka and colleagues, 1993	27-50 ετών 73 Γ	Μη παχύσαρκοι έως παχύσαρκοι: 24-56	Ø	OXI (βαθμονόμηση εξειδίκευση, Steady state, άσκηση)	ME	ME	ME
Heshka and colleagues, 1993	29-49 ετών 53 Γ	Υπέρβαροι έως παχύσαρκοι: 28-56	Ø	OXI (βαθμονόμηση εξειδίκευση, Steady state, άσκηση)	ME	ME	ME

Συγγραφέας, χρονιά	Ηλικία, αριθμός και φύλο των υποκειμένων	Κατηγορία βάρους, ποσοστό σωματικού λίπους	Ποιότητα έρευνας	Κάλυψη κριτηρίων Έμ.Θερ. (μη υπάρχουσες τεχνικές)	Ακριβής πρόβλεψη ¹	Ανακριβής πρόβλεψη ²	Μέγιστο σφάλμα ³
Liu and colleagues, 1993	29-59 ετών 223 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι: 19-25	Ø	OXI (βαθμονόμηση)	ME	ME	ME
Mifflin-St.Jeor and colleagues, 1990	19-76 ετών 498 Α, Γ	Μη παχύσαρκοι έως παχύσαρκοι: 19-42	+	NAI	ME	ME	ME
Scalfi and colleagues, 1993	18-32 ετών 74 Γ	Μη παχύσαρκοι: 19-29 Παχύσαρκοι: 30-42	+	NAI	ME	ME	ME
Siervo and colleagues, 2003	18-31 ετών 157 Γ	Μη παχύσαρκοι: 21-25 Υπέρβαροι: 26- 29 Παχύσαρκοι: 31-39	+	NAI	ME	ME	ME

Ερμηνεία συμβόλων

***A**= άνδρας, **Γ**= γυναίκα, **ME**= μη εφαρμόσιμο (not applicable), **BMI**=δείκτης μάζας σώματος

Ποιότητα έρευνας:

- = δείχνει ότι μεγάλο μέρος του σχεδιασμού της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής δεν καλύφθηκαν

Ø = δείχνει ότι ο σχεδιασμός της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής δεν ήταν ισχυρά ή δεν εφαρμόστηκε κατά γράμμα το πρωτόκολλο έμμεσης θερμιδομετρίας ή περιείχε κινδύνους που οδηγούν σε μη ακρίβεια/ορθότητα της έρευνας.

+ = δείχνει ότι ο σχεδιασμός της έρευνας και τα κριτήρια εφαρμογής επιτελέστηκαν σωστά

¹ Ποσοστό όλων των ατόμων του δείγματος, των οποίων ο εκτιμώμενος από την εξίσωση Harris and Benedict BMR ήταν μεταξύ 90-110% του μετρημένου BMR.

² Ποσοστό όλων των ατόμων του δείγματος, των οποίων ο εκτιμώμενος από την εξίσωση Harris and Benedict BMR ήταν <90% ή >110% του μετρημένου BMR.

³ Η μικρότερη και μεγαλύτερη εκτίμηση ως ποσοστό του μετρημένου BMR.

Πίνακας 1.14. Έρευνες αξιολόγησης της εξίσωσης Owen

	Ηλικία	RMR (kcal/ημέρα)
• Άνδρες	10-17	$(17,7 \cdot B) + 657$
	18-29	$(15,1 \cdot B) + 692$
	30-59	$(11,5 \cdot B) + 873$
	60-74	$(11,9 \cdot B) + 700$
	>75	$(8,4 \cdot B) + 821$

	Ηλικία	RMR (kcal/ημέρα)
• Γυναίκες	10-17	$(13,4 \cdot B) + 692$
	18-29	$(14,8 \cdot B) + 487$
	30-59	$(8,3 \cdot B) + 846$
	60-74	$(9,2 \cdot B) + 687$
	>75	$(9,8 \cdot B) + 624$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Οι εξισώσεις Schofield είναι μία ακόμη μέθοδος για την εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού υγείων ενηλίκων χρησιμοποιώντας το φύλο, την ηλικία, και το βάρος του ατόμου χωρίς το ύψος. Αυτές οι εξισώσεις δημιουργήθηκαν από την ανάλυση περίπου 100 μελετών που περιείχαν δεδομένα από 7173 υγιής ενήλικες (3 έως 60 ετών), η πλειοψηφία των οποίων ήταν άντρες (Reeves MM, 2003).

Υπάρχουν πολλά μειονεκτήματα στις εξισώσεις Schofield εκ των οποίων ένα από τα πιο σημαντικά είναι ότι οι εκτιμήσεις ενέργειας έχουν υψηλή μεταβλητότητα που κυμαίνεται από 36% έως 53% με μεγάλες αποκλίσεις και πιθανότητα λάθους (Reeves MM, 2003). Αν και εκτιμούν με ακρίβεια το BMR ατόμων σε εύκρατο κλίμα, φαίνεται ότι είναι λιγότερο ακριβείς στην εκτίμηση του BMR σε πληθυσμούς τροπικών περιοχών (Henry CJ, 1991) και πληθυσμούς της Βόρειας Αμερικής (Clark HD, 1991). Επίσης, αυτές οι εξισώσεις δεν ανταποκρίνονται καλά σε παχύσαρκα

άτομα και φαίνεται να υπερεκτιμούν το BMR σε πολλούς πληθυσμούς (Soares MJ, 1993 - Hayter JE, 1993). Στον πίνακα 1.15 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ποσοστό υπερεκτίμησης (+) και υποεκτίμησης (-) του βασικού μεταβολικού ρυθμού χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Schofield σε πληθυσμούς διαφορετικής εθνικότητας (ηλικίας 18-60 ετών). Εντούτοις, επειδή το 47% των ατόμων που συμπεριλήφθηκαν στις αναλύσεις ήταν Ιταλοί, αυτές οι εξισώσεις ίσως να είναι περισσότερο κατάλληλες για τον ελληνικό πληθυσμό.

Πίνακας 1.15. Ποσοστό υπερεκτίμησης (+) ή υποεκτίμησης (-) του βασικού μεταβολικού ρυθμού χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Schofield σε πληθυσμούς διαφορετικής εθνικότητας (ηλικίας 18-60 ετών)

Εθνικότητα	Άντρες		Γυναίκες	
	Μέσος όρος(%)	Δείγμα	Μέσος όρος(%)	Δείγμα
Philippino	+9.6	82	+ 0.3	16
Indian	+ 12.7	48	+ 12.9	7
Japanese	+ 8.3	123	+ 7.9	71
Brazilian	+ 8.1	122	-	-
Chinese	+ 8.2	232	+ 3.4	156
Malay	+ 9.3	62	-	-
Javanese	+ 5.1	82	-	-
Mayan	+ 0.0	68	-	-
Chippewa Indian	- 18.5	5	- 18.5	5

(Πηγή Henry & Rees 1988)

WHO/FAO/UNU (1985)

World Health Organization/Food and Agriculture Organization/United Nations University

- **Βάρος μόνο:**

Ηλικία (έτη)

Ανδρες

18-30 $15,3 \times \text{βάρος} + 679$

31-60 $11,6 \times \text{βάρος} + 879$

>60 $13,5 \times \text{βάρος} + 487$

Γυναίκες

18-30 $14,7 \times \text{βάρος} + 496$

31-60 $8,7 \times \text{βάρος} + 829$

>60 $10,5 \times \text{βάρος} + 596$

- **Βάρος και Ύψος (m):**

Ηλικία (έτη)

Ανδρες

18-30 $(15,4 \times \text{βάρος}) - (27 \times \text{ύψος}) + 717$

31-60 $(11,3 \times \text{βάρος}) + (16 \times \text{ύψος}) + 901$

>60 $(8,8 \times \text{βάρος}) + (1,128 \times \text{ύψος}) - 1,071$

Γυναίκες

18-30 $(13,3 \times \text{βάρος}) + (334 \times \text{ύψος}) + 35$

31-60 $(8,7 \times \text{βάρος}) - (25 \times \text{ύψος}) + 865$

>60 $(9,2 \times \text{βάρος}) + (637 \times \text{ύψος}) - 302$

Οι εξισώσεις του WHO/FAO/UNU δημιουργήθηκαν με τη χρήση δεδομένων των Schofield, Schofield and James (*Food and Agricultural Organization, 1985 - Schofield C., 1985 - Schofield WN., 1985 - James WP., 1985*), δεδομένων που κυρίως προέρχονταν από νέους Ευρωπαίους στρατιώτες και συγκεκριμένα 2,279 άνδρες και 247 γυναίκες εκ των οποίων το 45% κατάγονταν από την Ιταλία (*Schofield C., 1985 - Schofield WN., 1985 - James WP., 1985 - Hayter JE, 1994*). Το ηλικιακό εύρος του δείγματος της μελέτης ήταν αυτό των 19-82 χρόνων με μειωμένη συμμετοχή των ηλικιωμένων.

Δημιουργήθηκαν δύο εξισώσεις εκ των οποίων η μία χρησιμοποιεί μόνο το βάρος και η άλλη το βάρος και το ύψος για την εκτίμηση του BMR. Οι εξισώσεις αυτές διαφέρουν από τις εξισώσεις των Harris-Benedict στο γεγονός ότι είναι συγκεκριμένες για την ηλικία και το φύλο ενώ, έχει αναφερθεί ότι δεν ανταποκρίνονται σε λιποβαρή άτομα ή σε άτομα που είναι υπέρβαρα και παχύσαρκα γιατί υποεκτιμούν ή υπερεκτιμούν τις ενεργειακές τους ανάγκες (Muller MJ, 2004). Μελέτες μάλιστα δείχνουν ότι οι εξισώσεις αυτές υπερεκτιμούν το BMR τροπικών πληθυσμών κατά περίπου 8% (Henry CJ, 1991) ενώ μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε γερμανικό δείγμα 2528 ατόμων μεγάλου ηλικιακού εύρους, έδειξε συστηματικές υπερεκτιμήσεις σε άτομα χαμηλού BMR και σημαντικές υποεκτιμήσεις σε άτομα με υψηλό BMR (Muller MJ, 2004).

Οι προτεινόμενες εξισώσεις WHO/FAO/UNU για υπέρβαρους και παχύσαρκους ασθενείς είναι οι ακόλουθες:

Άνδρες 18-30 ετών = $(0,0630 \times \text{Παρόν βάρος σε kg} + 2,8957) \times 240 \text{ kcal/ημέρα}$

Άνδρες 31-60 ετών = $(0,0484 \times \text{Παρόν βάρος σε kg} + 3,6534) \times 240 \text{ kcal/ημέρα}$

Γυναίκες 18-30 ετών = $(0,0621 \times \text{Παρόν βάρος σε kg} + 2,0357) \times 240 \text{ kcal/ημέρα}$

Γυναίκες 31-60 ετών = $(0,0342 \times \text{Παρόν βάρος σε kg} + 3,5377) \times 240 \text{ kcal/ημέρα}$

Vander Weg (2004)

- **Γυναίκες**

Όπου:

B = βάρος σε kg

Y = ύψος σε cm

H = ηλικία σε έτη

$$\text{REE (kJ/day)} = 616.93 - 14.9 \times H + 35.12 \times B + 19.83 \times Y$$

Η εξίσωση αυτή στην πραγματικότητα εκτιμά την ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας και όχι το βασικό μεταβολικό ρυθμό. Δημιουργήθηκε από ένα δείγμα 471 γυναικών (205 Αφρικοαμερικάνες και 266 Ευρωπαίες) ηλικίας 18-39 ετών, με μέσο βάρος 70,7 kg και BMI 25,2 kg/m². Το μεγαλύτερο πλεονέκτημά της είναι το γεγονός ότι είναι η μόνη εξίσωση που λαμβάνει υπόψη της την εθνικότητα, γεγονός που δεν αναφέρεται σε καμία από τις προηγούμενες εξισώσεις.

Έχει βρεθεί ότι κατά μέσο όρο οι Αφρικοαμερικάνες έχουν μικρότερη ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας (*Weyer et al, 1999 – Gannon et al, 2000 – Kimm et al, 2001 – Sharp et al, 2002*). Παρόλο που υπάρχουν διαφωνίες σχετικά με τους λόγους ύπαρξης αυτής της διαφοράς (*Kumanyika, 1999*), παράγοντες όπως η μειωμένη συγκέντρωση λεπτίνης (*Nicklas et al, 1997*) και η μειωμένη δραστηριότητα της άλιπης μάζας σώματος (*Albu et al, 1997 – Jakicic & Wing, 1998*) μπορεί να συμβάλλουν στα χαμηλότερα επίπεδα REE των Αφρικοαμερικανών γυναικών. Εξισώσεις που δημιουργήθηκαν στηριζόμενες κυρίως σε δείγματα Ευρωπαίων γυναικών ενδεχομένως να μην είναι κατάλληλες για χρήση στην περίπτωση των Αφρικοαμερικανών και να υπερεκτιμούν τις ενεργειακές ανάγκες της ομάδας αυτής. Τη λύση στο πρόβλημα αυτό έδωσε η εξίσωση Vander Weg η οποία εκτιμά με ακρίβεια τις ενεργειακές ανάγκες και των δύο εθνικοτήτων.

Ένα ακόμη θετικό στοιχείο της εξίσωσης αυτής είναι ότι προέρχεται από γυναίκες με σωματικό βάρος που καλύπτει ένα ιδιαίτερα μεγάλο εύρος. Στη μελέτη συμμετείχαν γυναίκες φυσιολογικού βάρους, υπέρβαρες και παχύσαρκες και γι' αυτό το λόγο η εξίσωση μπορεί να γενικευθεί και σε άλλα δείγματα. Τέλος, ένα ακόμη πλεονέκτημά της είναι το γεγονός ότι πέραν της εθνικότητας εκτιμήθηκε και η επίδραση πολλών άλλων παραγόντων όπως του έμμηνου κύκλου, της ύπαρξης ή μη κάποιας φαρμακευτικής αγωγής, της εγκυμοσύνης, του θηλασμού και του καπνίσματος.

Στα μειονεκτήματα τώρα της εξίσωσης ανήκει το γεγονός ότι η έρευνα περιορίστηκε μονάχα στο γυναικείο φύλο αν και ακόμη δεν είναι σαφές εάν οι εξισώσεις που προβλέπουν την ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας στους άνδρες θα πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με την εθνικότητα. Επίσης, το ηλικιακό εύρος των γυναικών (18-39 ετών) που συμμετείχαν στη μελέτη ήταν ιδιαίτερα περιορισμένο και γι' αυτό η ακρίβεια της εξίσωσης αυτής σε γυναίκες μεγαλύτερης ηλικίας αμφισβητείται.

Siervo (2003)

- **Γυναίκες**

$$\text{RMR} = 11,5 \times B + 542,2$$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Από τις πιο πρόσφατες εξισώσεις εκτίμησης του μεταβολισμού ηρεμίας είναι και η εξίσωση του Siervo. Προήλθε από ένα δείγμα 157 γυναικών ηλικίας 18-35 ετών και παρόλο που ακόμα δεν έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας για την αξιοπιστία της, συμπεριλήφθηκε στην παρούσα μελέτη.

Bernstein (1983)

- **Γυναίκες**

$$\text{RMR} = 7,48 \times B - 0,42 \times Y - 3 \times H + 844$$

Όπου:

B = βάρος σε kg

Y = ύψος σε cm

H = ηλικία σε έτη

Η εξίσωση αυτή βασίστηκε σε μετρήσεις που έγιναν στη Μεγάλη Βρετανία σε άτομα φυσιολογικού σωματικού βάρους, ηλικίας 3 έως 80 ετών. Το γεγονός ότι στις αναλύσεις δε συμμετείχαν καθόλου υπέρβαρα ή παχύσαρκα άτομα, αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα της εξίσωσης αυτής η οποία φαίνεται να υποεκτιμά τις ενεργειακές απαιτήσεις των ατόμων αυτών.

1.7 Το μοντέλο των πέντε επιπέδων και οι εξισώσεις προσδιορισμού του βασικού μεταβολικού ρυθμού

Οι Wang και συν (1992), κάνοντας μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των τελευταίων 50 χρόνων, συγκέντρωσαν όλες τις πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη των μοντέλων σύστασης σώματος και κατέληξαν στο μοντέλο των πέντε επιπέδων. Το μοντέλο αυτό οργανώνει περισσότερα από 30 διαφορετικά συστατικά σε 5 ξεχωριστά επίπεδα αυξανόμενης πολυπλοκότητας: ατομικό, μοριακό, κυταρικό, σύστημα ιστών και ολικό σώμα.

✱ Σε επίπεδο ολικού σώματος

Μετρήσιμες ποσότητες σε επίπεδο ολικού σώματος περιλαμβάνουν τη μάζα σώματος και την επιφάνεια σώματος.

Η μάζα σώματος, που μπορεί να μετρηθεί εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια, ήταν ένα από τα πρώτα φυσικά χαρακτηριστικά που συμπεριλήφθηκαν στην πρόβλεψη του REE. Το 1932, ο Kleiber έδειξε ότι διάφορα θηλαστικά, από αρουραίους μέχρι μοσχάρια, που διέφεραν σημαντικά όσον αφορά στη μάζα του σώματός τους, είχαν παρόμοιο μεταβολισμό ηρεμίας που προέκυπτε από την εξής εξίσωση:

$$\text{REE} = 73.3 \times \text{BM}^{0.74} \quad (1)$$

Το 1961, ο ίδιος (Kleiber M., 1961) πρότεινε μια νέα εξίσωση με δείκτη το 0.75, επισημαίνοντας ότι η διαφορά αυτή ανάμεσα στο 0.74 και το 0.75 δεν είναι στατιστικά σημαντική. Όμως, στα χρόνια που ακολούθησαν, υπήρξε έντονη συζήτηση για τον λόγο για τον οποίο η ενεργειακή κατανάλωση των θηλαστικών φαίνεται να γέρνει προς το $\sim \text{BM}^{0.75}$. Υπήρξαν θεωρίες που επικράτησαν, ωστόσο, έντονο ενδιαφέρον υπάρχει μέχρι και σήμερα (Calder WA III, 1996 - West GB, 1999).

Άλλες παράμετροι εκτός της μάζας σώματος, όπως είναι το ύψος, η ηλικία και το φύλο, συχνά περιλαμβάνονται σε εξισώσεις προσδιορισμού του μεταβολισμού ηρεμίας που στηρίζονται στο επίπεδο ολικού σώματος. Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα είναι η εξίσωση Harris and Benedict στην οποία έχουμε ήδη αναφερθεί και η οποία χρησιμοποιείται ευρέως, κυρίως στην κλινική πράξη. Παρόλο που οι εξισώσεις είναι απλές και πρακτικές, ο βασικός μεταβολισμός μπορεί να μην προσδιορισθεί με ακρίβεια από τη μάζα σώματος και το ύψος. Πολλοί ερευνητές αναφέρουν

αποκλίσεις ανάμεσα στο REE που προκύπτει από τις εξισώσεις Harris and Benedict και το REE που μετράνε στα δικά τους υποκείμενα (*Owen OE, 1987*). Η παρατήρηση αυτή συχνά αποτελεί κίνητρο για τη δημιουργία εναλλακτικών “βελτιωμένων” εξισώσεων και η συνεχιζόμενη αυτή διαδικασία επισημαίνει ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό των εξισώσεων πρόβλεψης του BMR: τη διαφορετικότητα των πληθυσμών.

Οι εξισώσεις είναι ιδανικές για εφαρμογή σε υποκείμενα παρόμοια του πληθυσμού από τον οποίο έχει προέλθει η αρχική φόρμουλα. Τα υποκείμενα που χρησιμοποίησαν οι Harris and Benedict στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ήταν περισσότερο αδύνατα από τα υποκείμενα αυτών των ημερών που κατά μέσο όρο είναι λιγότερο δραστήρια, καταναλώνουν δίαιτες με μεγαλύτερο ποσοστό λίπους, είναι πιο βαριά και ζουν περισσότερο. Για το λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή όταν οι εξισώσεις εφαρμόζονται σε άτομα με χαρακτηριστικά που διαφέρουν σημαντικά απ’ αυτά των ατόμων από τα οποία έχουν προέλθει.

Η επιφάνεια σώματος, είναι μια ακόμη μεταβλητή που, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στην πρόβλεψη της ενεργειακής κατανάλωσης (*Kinney JM, 1963*). Επειδή όμως η επιφάνεια σώματος είναι δύσκολο να μετρηθεί κατ’ ευθείαν, συχνά εκτιμάται από τη μάζα σώματος και το ύψος (*Dubois D, 1916*). Οι εξισώσεις για την εκτίμηση του BMR που στηρίζονται στην επιφάνεια σώματος ήταν ιδιαίτερα δημοφιλείς στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα όταν κυριαρχούσε η άποψη ότι η επιφάνεια σώματος συνδέεται ισχυρά με τις απώλειες θερμότητας στα θηλαστικά, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων (*Elia M, 1992*).

✱ Σε επίπεδο ιστών και οργάνων

Σε επίπεδο ιστών και οργάνων, το ανθρώπινο σώμα μπορεί να χωριστεί σε όργανα και ιστούς όπως το συκώτι, ο εγκέφαλος, η καρδιά, οι πνεύμονες, οι σκελετικοί μύες, τα κόκκαλα και ο λιπώδης ιστός. Όλοι οι ιστοί και τα όργανα είναι μεταβολικά ενεργά, συνεπώς, το REE μπορεί να προκύψει από το άθροισμα των προϊόντων μεμονωμένων ιστών/οργάνων και του μεταβολικού τους ρυθμού,

$$REE = \sum_{i=1}^n (K_i \times T_i) \quad (2)$$

όπου T η μάζα του μεμονωμένου ιστού/οργάνου, i ο αριθμός του ιστού/οργάνου και K ο μεταβολικός ρυθμός του συγκεκριμένου ιστού/οργάνου. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, ο μεταβολισμός ηρεμίας ολόκληρου του σώματος εξαρτάται από δύο παράγοντες: α) το μεταβολισμό ηρεμίας του κάθε ιστού/οργάνου και β) τη μάζα του κάθε ιστού/οργάνου.

Ο Elia (*Elia M., 1992*), στην έρευνά του, υπογράμμισε την ύπαρξη μεγάλων διαφορών όσον αφορά στο μεταβολισμό ηρεμίας μεταξύ των διαφόρων ιστών/οργάνων. Η καρδιά και οι πνεύμονες έχουν το μεγαλύτερο μεταβολισμό ηρεμίας (440 kcal/kg/ημέρα), ενώ ο εγκέφαλος (240 kcal/kg/ημέρα) και το συκώτι (200 kcal/kg/ημέρα) έχουν επίσης υψηλούς ρυθμούς. Σε αντίθεση, ο μεταβολισμός ηρεμίας του σκελετικού μυ (13 kcal/kg/ημέρα) και του λιπώδη ιστού (4,5 kcal/kg/ημέρα) είναι χαμηλός. Συνεπώς, παρόλο που ο σκελετικός μυς και ο λιπώδης ιστός είναι τα δύο μεγαλύτερα συστατικά, η συνεισφορά τους στο REE είναι μικρότερη απ' αυτή των υπολοίπων οργάνων. Το μεγαλύτερο μέρος του REE του σώματος (~60%) προέρχεται από όργανα όπως το συκώτι, οι πνεύμονες, η καρδιά και ο εγκέφαλος που αποτελούν μόλις το 5%-6% της συνολικής μάζας σώματος.

Ο Gallagher και οι συνεργάτες του, (*Gallagher D, 1998*) σε μια μελέτη που πραγματοποίησαν το 1998, μέτρησαν τους όγκους των 7 ιστών/οργάνων σε 13 ενήλικες ηλικίας $31,2 \pm 7,2$ χρόνων με δείκτη μάζας σώματος $22,9 \pm 2,5$ kg/m². Ισχυρή συσχέτιση ($r = 0.94$, $p = 0.0001$) βρέθηκε ανάμεσα στο BMR που προέκυψε με τη χρήση της εξίσωσης (2) και των αποτελεσμάτων της έμμεσης θερμιδομετρίας καθώς δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα (εξίσωση (2): 1666 ± 348 kcal/ημέρα – έμμεση θερμ.: 1684 ± 347 kcal/ημέρα).

Μια σημαντική υπόθεση που κάνουμε με τη χρήση της εξίσωσης (2) είναι ότι ο μεταβολικός ρυθμός κάθε ιστού/οργάνου είναι ο ίδιος για όλα τα ενήλικα άτομα.. Ωστόσο, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται σε παιδιά και άλλα θηλαστικά.

Ο Gallagher και οι συνεργάτες του (*Gallagher D, 1998*) ανέφεραν ότι από τα 7 συστατικά του σώματος, μόνο ο εγκέφαλος και ο σκελετικός μυς, συνδέονται στατιστικά σημαντικά με το REE,

$$REE = 689 \times \text{εγκέφαλος} + 27.5 \times \text{σκελετικός μυς} - 210$$

όπου το REE είναι σε kcal/ημέρα και ο εγκέφαλος και ο σκελετικός μυς σε kg. Η εξίσωση αυτή όμως, προήλθε από ένα εξαιρετικά μικρό δείγμα ($n=13$) και ίσως γι' αυτό και τα συστατικά αυτά να είναι τα μόνα που φάνηκε να συνδέονται στατιστικά σημαντικά με το REE.

Προς το παρόν, η σύσταση του σώματος σε επίπεδο ιστών/οργάνων μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια με τη χρήση εξελιγμένων μεθόδων όπως είναι η Αξονική Τομογραφία (AT) και η Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού (ΑΜΣ) (*Despres JP, 1996*). Ωστόσο, η εκτίμηση του REE σε επίπεδο ιστών/οργάνων είναι αρκετά περιορισμένη λόγω της πολυπλοκότητας και του

υψηλού κόστος των παραπάνω τεχνικών που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του όγκου των οργάνων. Η μέθοδος της ΑΤ έχει ένα επιπλέον μειονέκτημα. Απαιτεί την έκθεση των συμμετεχόντων σε ραδιενέργεια γι' αυτό και η συμμετοχή παιδιών και μετα-εμμηνοπαυσιακών γυναικών είναι περιορισμένη.

✖ Πρόβλεψη σε κυτταρικό επίπεδο

Από τα 5 επίπεδα οργάνωσης, από το ατομικό μέχρι και το επίπεδο ολικού σώματος, το κυτταρικό επίπεδο είναι το πρώτο στο οποίο εμφανίζεται ο ενεργειακός μεταβολισμός σε ζωντανούς οργανισμούς. Το κλασσικό κυτταρικό επίπεδο αποτελείται από τρία κύρια διαμερίσματα: την κυτταρική μάζα, το εξωκυτταρικό υγρό και τα εξωκυτταρικά στερεά.

$$REE = \sum_{i=1}^n (K_i \times CM_i) \quad (3)$$

Όπου: CM η κυτταρική μάζα, i ο τύπος του κυττάρου και K ο μεταβολισμός ηρεμίας κάθε κυτταρικού τύπου.

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, το ολικό REE εξαρτάται από δύο παράγοντες: την κυτταρική μάζα και το μεταβολικό ρυθμό ηρεμίας της συγκεκριμένης κατηγορίας κυττάρων ενώ, μια βασική παραδοχή του είναι ότι ο μεταβολισμός ηρεμίας των διαφόρων κυτταρικών τύπων είναι ίδιος σε όλους τους ανθρώπους. Η υπόθεση αυτή είναι λογική καθώς κύτταρα της ίδιας κατηγορίας υπό βασικές συνθήκες καταναλώνουν ίσα ποσά οξυγόνου και παράγουν ίσες ποσότητες θερμότητας. Ωστόσο, μεταβολές στην θερμοκρασία του σώματος και τη δραστηριότητα του συμπαθητικού νευρικού συστήματος μπορούν να επηρεάσουν την ενέργεια που δαπανάται από συγκεκριμένες κυτταρικές ομάδες.

Παρόλο που το κυτταρικό επίπεδο είναι πολύ σημαντικό στη μελέτη του ενεργειακού μεταβολισμού, η έρευνα που έχει γίνει πάνω σε αυτό το κομμάτι είναι περιορισμένη και αυτό λόγω της δυσκολίας ποσοτικού προσδιορισμού των διαφόρων κυτταρικών τύπων. Αν και η εξίσωση (3) αποτελεί ένα κατανοητό μοντέλο για την πρόβλεψη του REE, προς το παρόν δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πράξη καθώς δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός της κυτταρικής μάζας ως ξεχωριστή κατηγορία κυττάρων in vivo.

Ο Moore και οι συνεργάτες (Moore FD, 1963) ήταν οι πρώτοι που αναφέρθηκαν στην έννοια της κυτταρικής μάζας σώματος (ΚΜΣ). Η έννοια αυτή αντιστοιχεί στη διαφορά μεταξύ της ολικής κυτταρικής μάζας και της λιπώδους μάζας. Η εξίσωση που προτάθηκε ήταν η εξής:

$$REE = a + b \times ΚΜΣ$$

όπου: a και b ο σταθερός όρος και η κλίση αντίστοιχα

ενώ, η ΚΜΣ μπορεί να υπολογιστεί από την εξής εξίσωση: $ΚΜΣ (kg) = 0,00833 \times ΟΚΣ$, όπου ΟΚΣ είναι το ολικό κάλιο σώματος (*Moore FD, 1963 - Forbes GB, 1987*).

* Πρόβλεψη σε μοριακό επίπεδο

Σε μοριακό επίπεδο, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από δύο συστατικά, την άλιπη μάζα σώματος και το λίπος. Πολλοί ερευνητές τις τελευταίες 4 δεκαετίες έχουν εξετάσει τη σχέση μεταξύ του REE και της άλιπης μάζας σώματος και η σχέση στην οποία κατέληξαν είναι η εξής:

$$REE = a + b \times FFM \quad (4)$$

όπου a και b ο σταθερός όρος και η κλίση αντίστοιχα.

Παρόλο που ο REE μπορεί να υπολογισθεί με τη χρήση της εξίσωσης (4), οι διάφορες εξισώσεις που λαμβάνουν υπόψη τους την άλιπη μάζα σώματος έχουν σταθερούς όρους και κλίσεις που ποικίλλουν από 19,6-22,8 kcal/kg αλ.μάζας/ημέρα. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των διαφορετικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της άλιπης μάζας σώματος. Σε προηγούμενες μελέτες, η άλιπη μάζα σώματος προσδιορίστηκε με υδροπυκνομετρία, με τη μέτρηση του ολικού καλίου σώματος, με βιοηλεκτρική εμπέδηση και πιο πρόσφατα με τη μέθοδο DXA (*Lohman TG, 1996 - Wang ZM, 1998*). Διαφορετικές μέθοδοι αξιολόγησης της σύστασης σώματος μπορούν να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά στην άλιπη μάζα σώματος και συνεπώς να οδηγήσουν σε εξισώσεις με διαφορετικούς σταθερούς όρους και κλίσεις.

Ο Cunningham (*Cunningham JJ, 1991*) μελέτησε 8 μεγάλου δείγματος έρευνες ($n > 100$) και πρότεινε μια γενικευμένη εξίσωση εκτίμησης του βασικού μεταβολικού ρυθμού με βάση την άλιπη μάζα σώματος,

$$REE = 21.6 \times FFM + 370$$

Η εξίσωση αυτή ερμηνεύει το 65-90% των παρατηρούμενων μεταξύ των ατόμων διαφορών όσον αφορά στο REE.

1.8. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΤΟΜΩΝ

❖ ... σε ηλικιωμένους

Πολλοί ερευνητές έχουν αμφισβητήσει το κατά πόσο οι εξισώσεις που συχνά χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού νεαρών ατόμων, είναι κατάλληλες για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών ηλικιωμένων ατόμων. Φαίνεται πως οι εξισώσεις αυτές γενικά δεν έχουν εφαρμοσθεί ιδιαίτερα καλά σε μεμονωμένα ηλικιωμένα άτομα, καθώς μόνο περιορισμένες δοκιμές είναι διαθέσιμες και το ηλικιακό εύρος κυμαίνεται από 50-84 ετών με πολύ μικρή εκπροσώπηση υποκειμένων ηλικίας άνω των 80 ετών.

Ο Arciero και οι συνεργάτες του (*Arciero PJ, 1993*) θέλησαν να προσδιορίσουν ποια από τις υπάρχουσες εξισώσεις είναι καταλληλότερη για την εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού ηλικιωμένων ατόμων. Χρησιμοποίησαν ένα δείγμα 116 γυναικών, ηλικίας 60-82 ετών, με BMI να κυμαίνεται από 18,9 kg/m² έως 39,4 kg/m² και αφού με τη μέθοδο της έμμεσης θερμιδομετρίας υπολόγισαν το BMR τους, στη συνέχεια το συνέκριναν με τις τιμές που προέκυψαν από 8 διαφορετικές εξισώσεις. Οι εξισώσεις που χρησιμοποίησαν δίνονται στον πίνακα 1.16 που σελίδα ακολουθεί.

Πίνακας 1.16

	Εξίσωση
Harris-Benedict	$BMR = 655.0955 + 9.5634(B) + 1.8496(Y) - 4.6756(H)$
Owen et al.	$BMR = 795 + 7.18(B)$
Fredrix et al.	$BMR = 1641 + 10.7(B) - 9(H) - 203(\Phi)$
Arciero et al.	$BMR = 144 + 7.8(B) + 4.7(Y) - 39.5(EP)$
Mifflin et al.	$BMR = 9.99(B) + 6.25(Y) - 4.92(H) - 161$
Cunningham (1)	$BMR = 370 + 21.6 (AM\Sigma)$
Cunningham (2)	$BMR = 501.6 + 21.6(AM\Sigma)$
WHO/FAO	$BMR = 9.2(B) + 6.4(Y) - 302$
B=βάρος (kg), Y=ύψος (cm), H=ηλικία (έτη), Φ=φύλο: 1=άνδρες, 2=γυναίκες EP= έμμηνος ρύση: 1=προ-εμμηνόπαυσης, 2=περι-εμμηνοπαυσιακά 3=μετά την εμμηνόπαυση AMΣ=άλιπη μάζα σώματος	

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εξισώσεις που με μεγαλύτερη ακρίβεια προβλέπουν τις ενεργειακές ανάγκες ηλικιωμένων γυναικών είναι αυτές των Owen et al., Fredrix et al. και Harris-Benedict με απόκλιση 2.2%, -0.5% και 3.1% αντίστοιχα, ενώ η εξίσωση του Cunningham (2) παρουσίαζε τη μεγαλύτερη απόκλιση της τάξεως του 13.7%.

Γενικότερα σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε ηλικιωμένα άτομα με σκοπό τον προσδιορισμό της καταλληλότερης για χρήση εξίσωσης, υποεκτιμήσεις μέχρι και 18% και υπερεκτιμήσεις της τάξεως του 5% αναφέρθηκαν στην περίπτωση της εξίσωσης Mifflin-St. Jeor σε ηλικιωμένους άνδρες (Arciero PJ, 1993), ενώ τα ποσοστά αυτά ήταν μεγαλύτερα στην περίπτωση των ηλικιωμένων γυναικών και ίσα με 31% και 7% αντίστοιχα (Arciero PJ, 1993). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημάνουμε ότι οι μέγιστες υπερεκτιμήσεις που αναφέρθηκαν στις μελέτες αυτές βρίσκονταν εντός των αποδεκτών ορίων ($\pm 10\%$).

Στην περίπτωση της εξίσωσης Harris-Benedict, οι μέγιστες υποεκτιμήσεις άγγιζαν το 19% για τους άνδρες και το 27% για τις γυναίκες (Arciero PJ, 1993), ενώ τα ποσοστά υπερεκτίμησης του βασικού μεταβολικού ρυθμού ήταν ίσα με 9% και 12% αντίστοιχα (Arciero PJ, 1993).

Μικρότερες αποκλίσεις παρατηρήθηκαν με τη χρήση των εξισώσεων του ΠΟΥ, όπου η παρατηρούμενη υποεκτίμηση στην περίπτωση των ανδρών ήταν ίση με 17% και των γυναικών με 8% ενώ η υπερεκτίμηση των αποτελεσμάτων ήταν 7% και 12% αντίστοιχα.

Στον πίνακα 1.17 που ακολουθεί συνοψίζονται τα περιορισμένα δεδομένα που αφορούν στους ηλικιωμένους. Παρόλο που τα μικρότερα σφάλματα πατρατηρούνται στην περίπτωση των εξισώσεων του ΠΟΥ, δεν έχουν γίνει μελέτες που να αξιολογούν την αποτελεσματικότητά τους στην περίπτωση υπέρβαρων και παχύσαρκων ατόμων, γεγονός που αποτελεί σημαντικό μειονέκτημά τους. Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι καμία από τις υπάρχουσες εξισώσεις δε μπορεί να προταθεί ως η πλέον κατάλληλη, λόγω των περιορισμένων δεδομένων, αλλά ότι η εξίσωση Mifflin-St. Jeor ίσως να είναι η προτιμότερη λόγω της ακρίβειάς της στην περίπτωση υπέρβαρων και παχύσαρκων ατόμων.

Πίνακας 1.17

Εξίσωση	Μη παχύσαρκοι, 20-82 ετών BMI=18.5-29.9 kg/m ²	Παχύσαρκοι, 20-82 ετών BMI >30 kg/m ²	Μη παχύσαρκοι – παχύσαρκοι 60-82 ετών
Mifflin-St. Jeor	Ακρίβεια: 82% Ίσα ποσοστά υπερ- και υπό- εκτίμησης Μεγ.Υποεκτίμηση:18% Μεγ.Υπερεκτίμηση:15%	Ακρίβεια: 70% Κυρίως υποεκτίμηση Μεγ.Υποεκτίμηση:20% Μεγ.Υπερεκτίμηση:15%	Μη διαθέσιμα αποτελέσματα εντός του $\pm 10\%$

...συνέχεια πίνακα 1.17

Εξίσωση	Μη παχύσαρκοι, 20-82 ετών BMI=18.5-29.9 kg/m ²	Παχύσαρκοι, 20-82 ετών BMI >30 kg/m ²	Μη παχύσαρκοι – παχύσαρκοι 60-82 ετών
Harris-Benedict (με τη χρήση του προσαρμοσμένου βάρους)	-----	Ακρίβεια: 26% Κυρίως υποεκτίμηση Μεγ.Υποεκτίμηση:42% Μεγ.Υπερεκτίμηση:25%	Μη διαθέσιμα
Owen	Ακρίβεια: 73% Κυρίως υποεκτίμηση Μεγ.Υποεκτίμηση:24% Μεγ.Υπερεκτίμηση:28%	Ακρίβεια: 51% Κυρίως υποεκτίμηση Μεγ.Υποεκτίμηση:37% Μεγ.Υπερεκτίμηση:15%	Μη διαθέσιμα αποτελέσματα εντός του ± 10 %
WHO/FAO	Μη διαθέσιμα	Μη διαθέσιμα	Μη διαθέσιμα αποτελέσματα εντός του ± 10 %

❖ ...σε αθλητές

Οι περισσότερες από τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού ενός ατόμου δημιουργήθηκαν με τη συμμετοχή κυρίως ατόμων με καθιστική ζωή ή μέτριας έντασης δραστηριότητα. Πόσο κατάλληλες είναι λοιπόν οι εξισώσεις αυτές για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών ατόμων με ιδιαίτερα έντονη δραστηριότητα όπως είναι οι αθλητές;

Στο ερώτημα αυτό θέλησαν να δώσουν απάντηση οι Thompson J. και Manore M. με μια μελέτη στην οποία συμμετείχαν 37 αθλητές αντοχής (24 άνδρες, 13 γυναίκες). Τα κριτήρια που έπρεπε να πληρούν προκειμένου να συμμετάσχουν στη μελέτη ήταν πολλά. Προπόνηση 1 ή περισσότερες ώρες την ημέρα, 4-7 μέρες την εβδομάδα για τις τουλάχιστον 44 από τις τελευταίες 52 εβδομάδες πριν τη μελέτη, τρέξιμο τουλάχιστον 30 μίλια ανά εβδομάδα και ποδηλασία για τουλάχιστον 80 μίλια την εβδομάδα. Οι συμμετέχοντες θα έπρεπε επίσης να μην καπνίζουν, να μην ακολουθούν κάποια φαρμακευτική αγωγή που να επηρεάζει το βασικό τους μεταβολισμό, να μην έχουν κάποιο ιστορικό διαταραχής λήψης τροφής και να μην είχε σημειωθεί κάποια αλλαγή στο σωματικό τους βάρος τον τελευταίο χρόνο.

Η μέτρηση του βασικού μεταβολισμού με τη μέθοδο της έμμεσης θερμιδομετρίας έγινε δύο φορές. Στην περίπτωση των ανδρών οι μετρήσεις απείχαν χρονικά μία εβδομάδα ενώ στις γυναίκες το διάστημα ήταν μεγαλύτερο και ίσο με ένα μήνα. Είχε ζητηθεί από όλους, άνδρες και γυναίκες, να απέχουν από κάθε είδους δραστηριότητα για τουλάχιστον 12 ώρες πριν από τη μέτρηση. Οι τιμές που προέκυψαν από τις δύο δοκιμές δεν διέφεραν στατιστικά σημαντικά και ως πραγματικό BMR χρησιμοποιήθηκε ο μέσος των δύο μετρήσεων.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του βασικού μεταβολισμού δίνονται στον πίνακα 1.18 που ακολουθεί.

Πίνακας 1.18

Εξίσωση	
Owen et al.	$BMR = 879 + 10.2(B)$
Άνδρες	$BMR = 290 + 22.3(AMΣ)$
Owen et al	$BMR = 795 + 7.18(B)$ (όχι αθλήτριες)
Γυναίκες	$BMR = 50.4 + 21.1(B)$ (αθλήτριες)
Mifflin et al.	
Άνδρες	$BMR = 9.99(B) + 6.25(Y) - 4.92(H) + 5$
Γυναίκες	$BMR = 9.99(B) + 6.25(Y) - 4.92(H) - 161$
Cunningham	$BMR = 500 + 22(AMΣ)$
Harris-Benedict	
Άνδρες	$BMR = 66.47 + 13.75(B) + 5(Y) - 6.76(H)$
Γυναίκες	$BMR = 655.1 + 9.56(B) + 1.85(Y) - 4.68(H)$
B=βάρος (kg), Y=ύψος (cm), H=ηλικία (έτη), AMΣ=άλιπη μάζα σώματος	

Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής ήταν τα εξής: με μοναδική εξαίρεση τις εξισώσεις του Cunningham, το BMR που προέκυψε από τις υπόλοιπες 8 εξισώσεις, τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες, ήταν χαμηλότερο του πραγματικού (*Cunningham JJ, 1980*). Ο λόγος που τα αποτελέσματα της εξίσωσης αυτής ήταν πιο κοντά στις πραγματικές μετρήσεις δεν είναι γνωστός. Ωστόσο, φαίνεται ότι το γεγονός ότι περιέχει την άλιπη μάζα σώματος ως εξαρτημένη μεταβλητή παίζει σημαντικό ρόλο. Μελέτες (*Mifflin Md, 1990 - Owen OE, 1987 - Ravussin E, 1989*) δείχνουν ότι η άλιπη μάζα σώματος ερμηνεύει το μεγαλύτερο ποσοστό του BMR που σημαίνει ότι η χρήση της σε μια εξίσωση θα μπορούσε να αυξήσει την ακρίβειά της.

Το γεγονός ότι οι εξισώσεις των Mifflin et al. (*Mifflin Md, 1990*) και Owen et al (*Owen OE, 1987 - Owen OE, 1986*) δεν προέβλεψαν με ακρίβεια το βασικό μεταβολικό ρυθμό δεν ήταν έκπληξη. Τα άτομα από τα οποία προήλθαν οι παραπάνω εξισώσεις ήταν ηλικίας 18-82 χρόνων και το σωματικό τους βάρος κυμαινόταν από 46-143 kg για τις γυναίκες και 58-171 kg για τους άνδρες. Αντιθέτως, οι αθλητές που συμμετείχαν στη μελέτη αυτή ήταν μικρότερης ηλικίας και είχαν ένα

σημαντικά μικρότερο ποσοστό σωματικού λίπους και σωματικού βάρους. Ως αποτέλεσμα, η αναλογία της άλιπης μάζας σώματος στο σύνολο του σωματικού βάρους ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση των αθλητών που σημαίνει ότι οι πληθυσμοί από τους οποίους προήλθαν οι εξισώσεις των Mifflin et al. και Owen et al. δεν είναι αντιπροσωπευτικοί ενός δραστήριου πληθυσμού.

Παρόλο που τα άτομα που μελετήθηκαν από τους Cunningham (*Cunningham JJ, 1980*) και Harris-Benedict (*Harris JA, 1919*) δεν ήταν αθλητές, ήταν περισσότερο αδύνατοι εν συγκρίσει με τα άτομα που συμμετείχαν στις μελέτες των Owen et al (*Owen OE, 1987- Owen OE, 1986*) και Mifflin et al. (*Mifflin Md, 1990*). Επιπλέον, είναι πιθανό ένα άτομο που το 1919 (έτος που δημιουργήθηκαν οι εξισώσεις των Harris-Benedict) θεωρούνταν μη ενεργό να ήταν περισσότερο δραστήριο από ένα άτομο που στις μέρες μας θεωρείται μη ενεργό λόγω των αλλαγών στον τρόπο ζωής. Αυτό σημαίνει ότι το επίπεδο φυσικής δραστηριότητας των υποκειμένων του Cunningham (*Cunningham JJ, 1980*) και των Harris-Benedict (*Harris JA, 1919*) μπορεί να ήταν περισσότερο αντιπροσωπευτικό του επιπέδου φυσικής δραστηριότητας δραστήριων ατόμων, γεγονός που θα μπορούσε εν μέρει να δικαιολογήσει το γεγονός ότι οι εξισώσεις αυτές έδωσαν μετρήσεις που ήταν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές.

Παρόλο που ο αριθμός των συμμετεχόντων ήταν αρκετά μικρός για να γενικευθεί μια νέα εξίσωση, πραγματοποιήθηκε μια ερευνητική διαδικασία για να καθοριστεί ποιές από τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εξισώσεις, είναι αυτές που σε μεγαλύτερο βαθμό επηρεάζουν και καθορίζουν το βασικό μεταβολισμό. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής παρουσιάζονται στον πίνακα 1.19 που ακολουθεί.

Πίνακας 1.19

Αριθμός μεταβλητών	R ²
Ανδρες	
Άλιπη μάζα σώματος (kg)	0,5753
Άλιπη μάζα σώματος, ενεργειακή πρόσληψη (kcal/ημέρα)	0,6518
Άλιπη μάζα σώματος, σωματικό βάρος (kg), ενεργειακή πρόσληψη	0,6919
Άλιπη μάζα σώματος, σωματικό βάρος, ενεργειακή πρόσληψη, VO ₂ max (ml/kg/min)	0,7166
Γυναίκες	
Ενεργειακή πρόσληψη (kcal/ημέρα)	0,3647
Σωματικό βάρος (kg), ενεργειακή πρόσληψη	0,5506
Ενεργειακή πρόσληψη, ενεργειακό ισοζύγιο (kcal/ημέρα)	0,8550
Σωματικό λίπος (%), ενεργειακή πρόσληψη, ενεργειακό ισοζύγιο	0,9346

Συνοψίζοντας, θα πρέπει να πούμε ότι σε περιπτώσεις που επιθυμούμε να καθορίσουμε τις ενεργειακές ανάγκες ατόμων με έντονη φυσική δραστηριότητα, η χρήση της εξίσωσης Cunningham (*Cunningham JJ, 1980*) μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερο ακριβή αποτελέσματα. Ωστόσο, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται ακόμα και σε αυτή την περίπτωση και γενικότερα κάθε φορά που μια εξίσωση χρησιμοποιείται σε δείγμα διαφορετικό από αυτό απ' το οποίο έχει προέλθει.

❖ ... σε παιδιά

Το ποσοστό των υπέρβαρων και παχύσαρκων παιδιών αυξάνει δραματικά στις δυτικές κοινωνίες (*Seidell JC, 1995 - Troiano RP, 1998*) και το γεγονός αυτό απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς πρόκειται για ένα σημαντικό δημόσιο πρόβλημα υγείας. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι παχύσαρκοι έφηβοι είναι πολύ πιθανό να εξακολουθήσουν να είναι παχύσαρκοι και μετά την ενηλικίωσή τους (*Guo SS, 1994*), ανεξάρτητα με το αν οι γονείς τους είναι ή δεν είναι παχύσαρκοι (*Whitaker RC, 1997*). Μια υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση του βασικού μεταβολικού ρυθμού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά λάθη όσον αφορά στο σχεδιασμό των ενεργειακών συστάσεων ενός πληθυσμού ή των ενεργειακών αναγκών ενός ατόμου. Γι' αυτό λοιπόν και είναι ιδιαίτερα σημαντικό οι όποιες συστάσεις για ενεργειακή πρόσληψη να στηρίζονται σε ακριβείς μεθόδους αξιολόγησης της ενεργειακής κατανάλωσης.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα για την εκτίμηση του BMR παιδιών και εφήβων βασίζονται σε μετρήσεις που διεξήχθησαν το πρώτο μισό αυτού του αιώνα (*World Health Organization, 1985 - Robertson JD, 1952 - Boothby WM, 1936*). Το αν αυτές μπορούν με ακρίβεια να χρησιμοποιηθούν στο σημερινό πληθυσμό δεν είναι σίγουρο για τους εξής λόγους: 1) η έναρξη της εφηβείας συμβαίνει σε νεότερη ηλικία απ' ότι συνέβαινε μερικές δεκαετίες πριν, έτσι η επίδραση της ταχύτερης αύξησης του σωματικού βάρους στο BMR κατά τη διάρκεια της εφηβείας μπορεί να μεταφερθεί σε μικρότερη ηλικία. Η σύνθεση του σώματος των παιδιών από τα οποία προήλθαν οι εξισώσεις που χρησιμοποιούμε είναι πιθανότατα διαφορετική απ' αυτή των παιδιών σήμερα εξαιτίας διαφόρων αλλαγών σε θέματα σχετικά με τη διατροφή, τον τρόπο ζωής και τη φυσική δραστηριότητα 2) ορισμένες μελέτες βρήκαν ότι τα "παλαιά" δεδομένα υπερεκτιμούσαν το BMR ενηλίκων 3) τα αποτελέσματα των τριών μελετών που διεξήχθησαν σε παιδιά και εφήβους και διερευνούσαν την αξιοπιστία των ευρέως χρησιμοποιούμενων δεδομένων είναι αντιφατικά (*Dietz WH, 1991 - Maffei CC, 1993 - Firouzbakhsh S, 1993*). Επιπλέον, ο αριθμός των ατόμων που συμμετείχαν στη μελέτη του Dietz ήταν σχετικά μικρός, και ο Firouzbakhsh μέτρησε το μεταγευματικό αντί για το μεταποφορρητικό BMR.

Λόγω των παραπάνω, ο Molnar και οι συνεργάτες του θέλησαν με τη μελέτη που διεξήγαγαν το 1995 να συγκρίνουν το πραγματικό BMR με το BMR που προέκυπτε από τις υπάρχουσες εξισώσεις σε ένα μεγάλο δείγμα παχύσαρκων και μη παχύσαρκων παιδιών και εφήβων, ηλικίας 10-16 ετών. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλάμβανε 235 μη παχύσαρκα (119 κορίτσια) και 136 παχύσαρκα (77 κορίτσια) παιδιά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των εξισώσεων που ήδη υπήρχαν και τη δημιουργία νέων. Οι εξισώσεις αυτές ελέγχθηκαν για την ακρίβειά τους με τη βοήθεια της δεύτερης ομάδας στην οποία συμμετείχαν 62 μη παχύσαρκα (31 κορίτσια) και 79 παχύσαρκα (49 κορίτσια) παιδιά. Κανένας από τους συμμετέχοντες δεν κάπνιζε, έπινε ή ακολουθούσε κάποια φαρμακευτική αγωγή ενώ από τη μελέτη αποκλείστηκαν παιδιά με διαβήτη ή άλλες ενδοκρινείς νόσους.

Οι ανθρωπομετρικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν περιλάμβαναν τα εξής: μέτρηση βάρους, ύψους, περιφέρειας μέσης και γοφών και μέτρηση δερματοπτυχών. Από τα παιδιά ζητήθηκε να ακολουθήσουν τη συνηθισμένη τους δίαιτα και μια μέρα πριν τη μέτρηση να αποφύγουν την έντονη άσκηση. Εκτίμηση του BMR έγινε με τη μέθοδο της έμμ. θερμιδομετρίας και οι τιμές που προέκυψαν συγκρίθηκαν με αυτές που δόθηκαν από τις πέντε πιο συχνά χρησιμοποιούμενες σε παιδιά εξισώσεις που δίνονται και στον πίνακα 1.20 που ακολουθεί.

Πίνακας 1.20

<i>Πηγή</i>	<i>Φύλο</i>	<i>Εξίσωση</i>
FAO/WHO/UNU		
Εξίσωση 1	A	$RMR=17.5 \times B \text{ (kg)} + 651$
Εξίσωση 2	Θ	$RMR=12.2 \times B \text{ (kg)} + 746$
Robertson and Reid	A	$RMR=16.6 \times B \text{ (kg)} + 77 \times Y \text{ (m)} + 572$
	Θ	$RMR=7.4 \times B \text{ (kg)} + 482 \times Y \text{ (m)} + 217$
Fleisch	A	$RMR=24 \text{ (RMR [kcal/m}^2\text{]) (επιφάνεια σώματος [m}^2\text{])}$
	Θ	$RMR=24 \text{ (RMR [kcal/m}^2\text{]) (επιφάνεια σώματος [m}^2\text{])}$
Mayo nomogram (Boothby et al.)	A	$RMR=24 \text{ (RMR [kcal/m}^2\text{]) (επιφάνεια σώματος [m}^2\text{])}$
	Θ	$RMR=24 \text{ (RMR [kcal/m}^2\text{]) (επιφάνεια σώματος [m}^2\text{])}$

Με μοναδική εξαίρεση τη 2^η εξίσωση του FAO/WHO/UNU όλες οι άλλες εξισώσεις υπερεκτίμησαν σε μεγάλο βαθμό το BMR των παιδιών, ενώ επίσης αποδείχθηκε για ακόμη μια φορά ότι μεταβλητές όπως η άλιπη μάζα σώματος, η λιπώδης μάζα σώματος, το σωματικό βάρος και το ύψος σχετίζονται ισχυρά με το BMR, με την άλιπη μάζα σώματος να ερμηνεύει το 80%-87% της παρατηρούμενης διακύμανσης.

2. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η αξιολόγηση των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων εξισώσεων βασικού μεταβολικού ρυθμού (Harris & Benedict, Owen, WHO/FAO/UNU, Mifflin-St Jeor, Schofield, Siervo, Van der Weg και Bernstein) στον γυναικείο ελληνικό πληθυσμό. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων βασικού μεταβολικού ρυθμού με έμμεση θερμιδομετρία σε προκαθορισμένο δείγμα 35 παχύσαρκων γυναικών ($BMI > 40 \text{ kg/m}^2$) και στη συνέχεια μέσω στατιστικής ανάλυσης βρέθηκε ποια από τις παραπάνω εξισώσεις προσδιορίζει με μικρότερο σφάλμα το βασικό μεταβολικό ρυθμό του δείγματος και είναι συνεπώς καταλληλότερη για χρήση στον γυναικείο ελληνικό πληθυσμό.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

🔗 Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του δείγματος

Τα χαρακτηριστικά των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2.1. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά του δείγματος

Μεταβλητή	Γυναίκες
Πλήθος	35
<i>Μέσος ± τυπική απόκλιση (εύρος)</i>	
Βάρος (kg)	128 ± 19 (101-183)
Ύψος (cm)	164 ± 6 (152-179)
BMI (kg/m^2)	48 ± 6 (40-68)
Ηλικία (έτη)	35 ± 8 (20-58)
BMR (kcal/ημέρα)	1848 ± 251 (1497-2499)

Η μέτρηση του ύψους και του βάρους των εθελοντών έγινε με τη βοήθεια ενός αναστημέτρου και μιας ζυγαριάς Seca αντίστοιχα. Η ενδυμασία τους ήταν ελαφριά και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς παπούτσια.

❧ Μέτρηση Βασικού Μεταβολικού Ρυθμού (Έμμεση Θερμιδομετρία)

Για την μέτρηση του BMR χρησιμοποιήθηκε το εργοσπειρόμετρο SensorMedics Vmax 290. Πριν την έναρξη της έμμεσης θερμιδομετρίας ήταν απαραίτητη η διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του εργοσπειρομέτρου με τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Η βαθμονόμηση γινόταν κάθε φορά πριν την έναρξη των μετρήσεων στον μετρητή ροής με τη βοήθεια μιας σύριγγας βαθμονόμησης σταθερού όγκου τριών λίτρων, καθώς και στους αναλυτές O_2 και CO_2 με τη χρήση δύο διαφορετικών αερίων βαθμονόμησης: ενός παρόμοιου με τη σύσταση του εκπνεόμενου αέρα (O_2 :16% και CO_2 :4%) και ενός με υψηλότερη περιεκτικότητα σε οξυγόνο (O_2 :26% και CO_2 :0%).

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν βάση ενός συγκεκριμένου πρωτοκόλλου. Αρχικά κάθε εθελοντής κλήθηκε να προσέλθει στο χώρο της μέτρησης νωρίς το πρωί μετά από 12ωρη νηστεία και αποχή από κάθε είδους έντονη φυσική δραστηριότητα την προηγούμενη μέρα. Στους εθελοντές δεν επιτράπηκε επίσης να καπνίσουν πριν από τη μέτρηση. Μετά από μια εξοικείωση με το χώρο, το σκοπό και τη διαδικασία της μέτρησης, ο εθελοντής κλήθηκε να ξαπλώσει στην διαθέσιμη κλίνη σε ύπτια θέση, όπου του τοποθετήθηκε το διαφανές, πλαστικό κάλυμμα (canopy) για τη συλλογή των αερίων και τότε πραγματοποιήθηκε η έναρξη της μέτρησης. Η διάρκεια της μέτρησης ήταν 45 λεπτά κάτω από συνθήκες απόλυτης ηρεμίας στο χώρο, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η απουσία εξωτερικών παραγόντων που θα μπορούσαν να διαταράξουν την ηρεμία του εθελοντή. Το εργοσπειρόμετρο ανέλυε την περιεκτικότητα του εμπνεόμενου αέρα σε O_2 και CO_2 σε κάθε αναπνοή.

Στο τέλος, και αφού είχε αποσυνδεθεί πλέον ο εθελοντής, έγινε ομαδοποίηση των μετρήσεων του εργοσπειρομέτρου, αποκλείοντας τα αρχικά λεπτά της διαδικασίας τα οποία αποτελούν την περίοδο προσαρμογής του εθελοντή και στα οποία συνήθως παρατηρούνται αυξημένες τιμές λόγω του στρες.

❧ Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των προγραμμάτων Microsoft Excel και SPSS ενώ, οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να αξιολογηθούν οι διαφορές και να προσδιορισθεί ο βαθμός συσχέτισης/συμφωνίας μεταξύ του BMR που εκτιμήθηκε με τις υπάρχουσες εξισώσεις και του BMR που μετρήθηκε με έμμεση θερμιδομετρία ήταν αυτές των Bland and Altman και paired t-test. Θα πρέπει επίσης, να αναφέρουμε ότι για την εκτίμηση του βαθμού συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής Spearman και ότι τα αποτελέσματα περιγράφονται ως μέσοι όροι $\pm$ τυπική απόκλιση ενώ, στατιστικά σημαντικά θεωρούνται όσα έχουν p-value <0.05.

2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον πίνακα 2.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται ο μέσος όρος των τιμών της έμμεσης θερμιδομετρίας και των τιμών που προέκυψαν από κάθε εξίσωση, καθώς και οι διαφορές των δύο τιμών για κάθε εξίσωση και ο συντελεστής συσχέτισης. Παρατηρούμε ότι ο βαθμός συσχέτισης είναι σχετικά υψηλός για όλες τις εξισώσεις και κυμαίνεται από 0.539 [Schofield, $p < 0.001$ και WHO (βάρος), $p < 0.001$] έως 0.706 (Mifflin-St.Jeor, $p < 0.001$). Παρόλα αυτά, με μοναδική εξαίρεση την εξίσωση του Van der Weg, όλες οι άλλες εξισώσεις κυρίως υπερεκτίμησαν αλλά και υποεκτίμησαν σημαντικά το BMR των εξεταζομένων, με τη μεγαλύτερη υπερεκτίμηση να προέρχεται από τον Schofield και να φτάνει τα 255 kcal/ημέρα και τη μεγαλύτερη υποεκτίμηση να προέρχεται από την εξίσωση του Bernstein και να ισούται με -221 kcal/ημέρα. Το ποσοστό των ατόμων που βρίσκεται εκτός του αποδεκτού ορίου ($\pm 10\%$) δίνεται στον πίνακα 2.3. Σύμφωνα και με αυτόν τον πίνακα η εξίσωση του Van der Weg είναι αυτή που εμφανίζει τις μικρότερες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές ενώ, πολύ μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ενώ οι εξισώσεις των Harris-Benedict και Bernstein παρουσιάζουν πολύ υψηλά ποσοστά υπερεκτίμησης (Harris-Benedict : 54,3%) και υποεκτίμησης (Bernstein: 45,7%) αντίστοιχα, στα άλλα άκρα δίνουν μηδενικές τιμές. Η συσχέτιση του BMR που μετρήθηκε με το BMR που προέκυψε από κάθε εξίσωση, δίνεται και με τη μορφή γραφικών παραστάσεων (βλ.σχήμα 1).

Πίνακας 2.2. Διαφορές και συσχετίσεις ανάμεσα στο BMR (kcal/ημέρα) που μετρήθηκε και το BMR που προέκυψε από τις διάφορες εξισώσεις (μέσοι, τυπικές αποκλίσεις και διαστήματα εμπιστοσύνης)

Εξίσωση	BMR		Συντελ. Spearman	Διαφορά ¹		Διαφορά (%) ¹	
	Μέσος	T.A		Μέσος	T.A	Μέσος	T.A
Μετρούμενο	1848	251	-	-	-	-	-
Mifflin-St Jeor	1968	220	0.706*	120*	173	7.2%	9.7
Harris-Benedict	2026	197	0.678*	178*	172	10.5%	9.9
Owen	1714	137	0.604*	-135*	185	-6.3%	9
WHOw	2101	279	0.539*	253*	263	14.6%	15.1
WHOwh	2063	247	0.564*	214*	232	12.6%	13.4
Bernstein	1627	147	0.655*	-221*	178	-11.2%	8.2
Siervo	2014	220	0.604*	166*	186	9.8%	10.7
Schofield	2104	277	0.539*	255*	262	14.8%	15
Van der Weg	1873	172	0.688*	25	173	2.2%	9.2

T.A= Τυπική Απόκλιση

* $p < 0.001$

1. Διαφορά (BMR από εξίσωση – BMR από έμμεση θερμιδομετρία) [kcal/ημέρα]

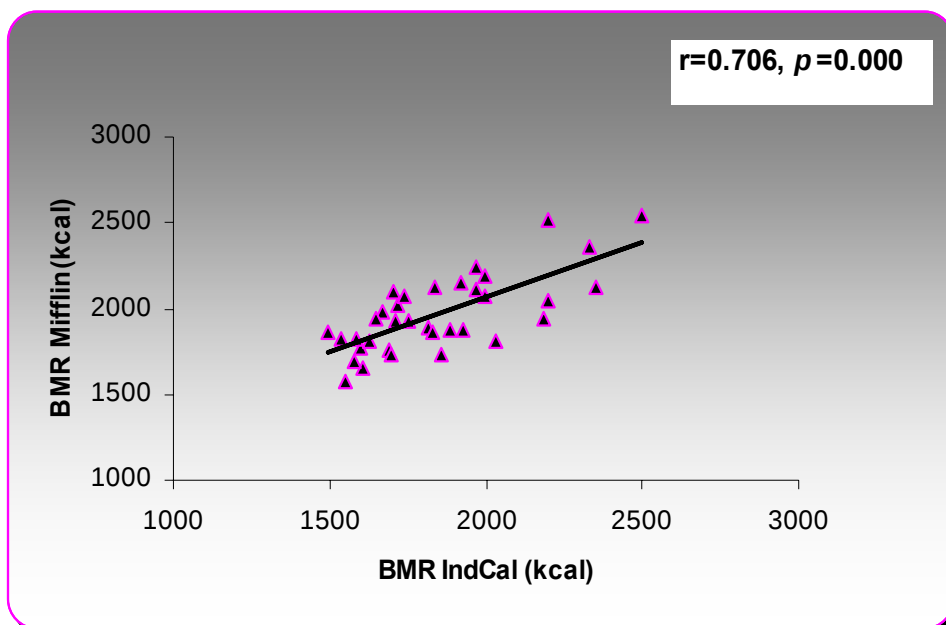
Πίνακας 2.3. Ποσοστό ατόμων που βρίσκονται εκτός του αποδεκτού εύρους $\pm 10\%$

Εξίσωση	Ποσοστό ατόμων με BMR > + 10%	Ποσοστό ατόμων με BMR < - 10%	Συνολικό ποσοστό ατόμων εκτός του $\pm 10\%$
Mifflin-St Jeor	45,7 %	5,7%	51,4 %
Harris-Benedict	54,3 %	0,0%	54,3 %
Owen	2,9 %	34,3 %	37,2 %
WHOw	60 %	5,7 %	65,7 %
WHOwh	57,1 %	5,7 %	62,8 %
Bernstein	0,0 %	45,7 %	45,7 %
Siervo	54,3 %	2,9 %	57,2 %
Schofield	62,9 %	5,7 %	68,6 %
Van der Weg	22,9 %	11,4 %	34,3 %

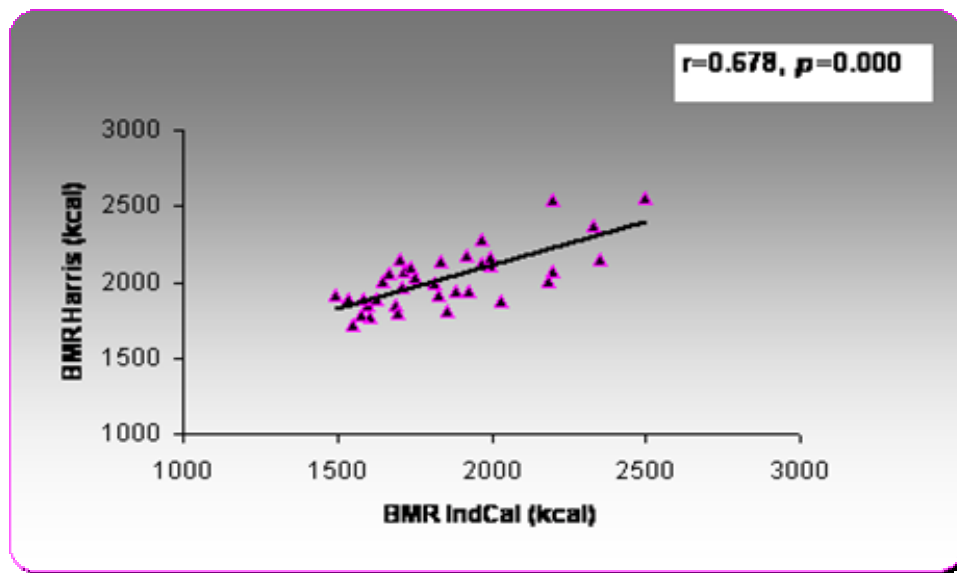
Σχήμα 1: Συσχέτιση του Βασικού Μεταβολικού Ρυθμού που μετρήθηκε με έμμεση θερμιδομετρία με τον Βασικό Μεταβολικό Ρυθμό που προέκυψε από την κάθε εξίσωση

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| (1): εξίσωση Mifflin-St.Jeor | (6): εξίσωση Siervo |
| (2): εξίσωση Harris-Benedict | (7): εξίσωση Bernstein |
| (3): εξίσωση Owen | (8): εξίσωση Schofield |
| (4): εξίσωση WHOw (βάρος μόνο) | (9): εξίσωση Van der Weg |
| (5): εξίσωση WHOwh (βάρος + ύψος) | |

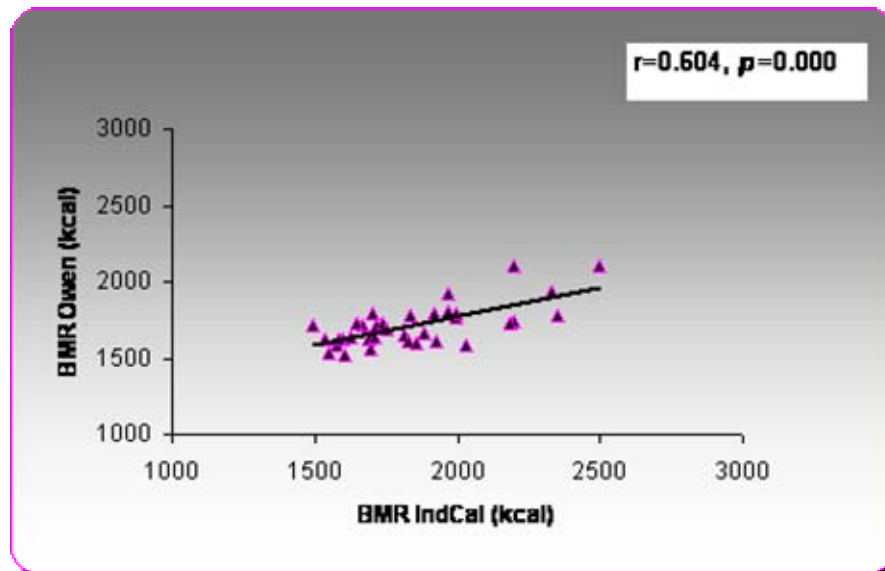
(1)



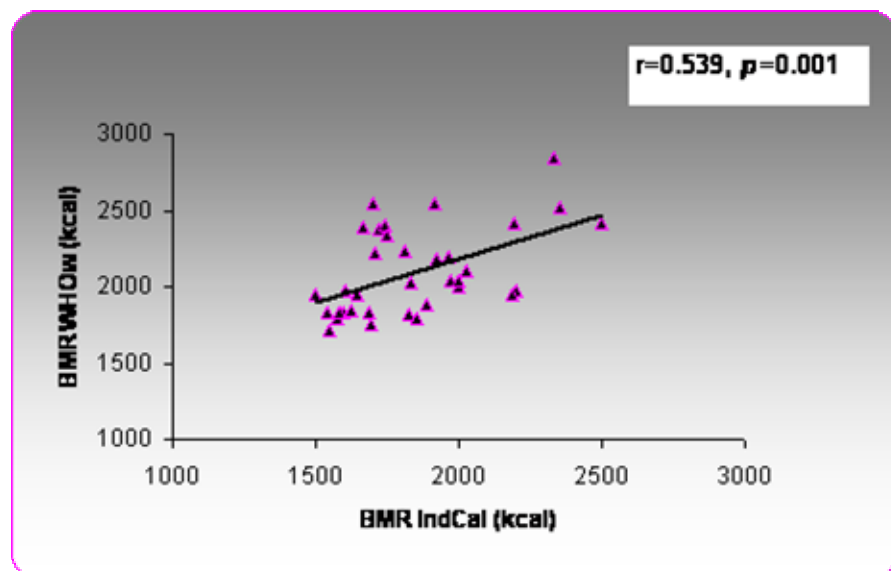
(2)



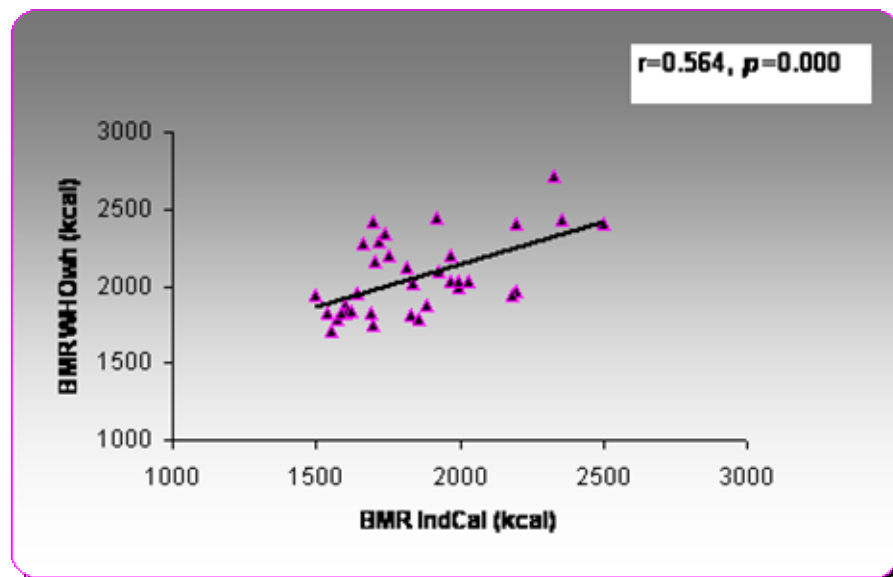
(3)



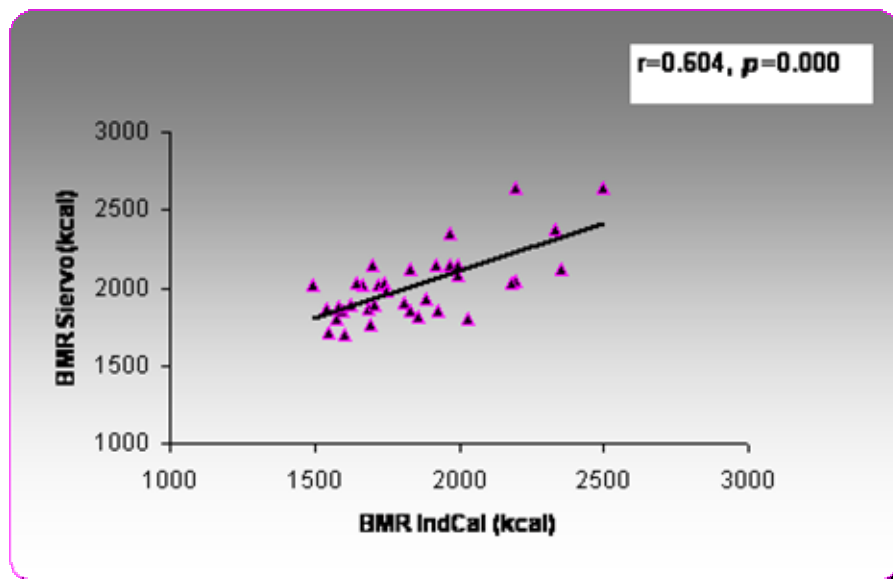
(4)



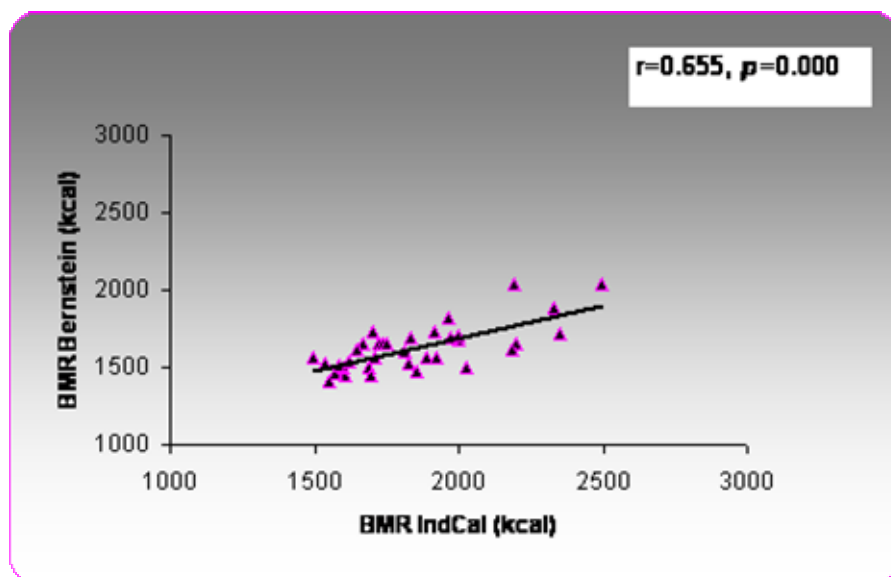
(5)



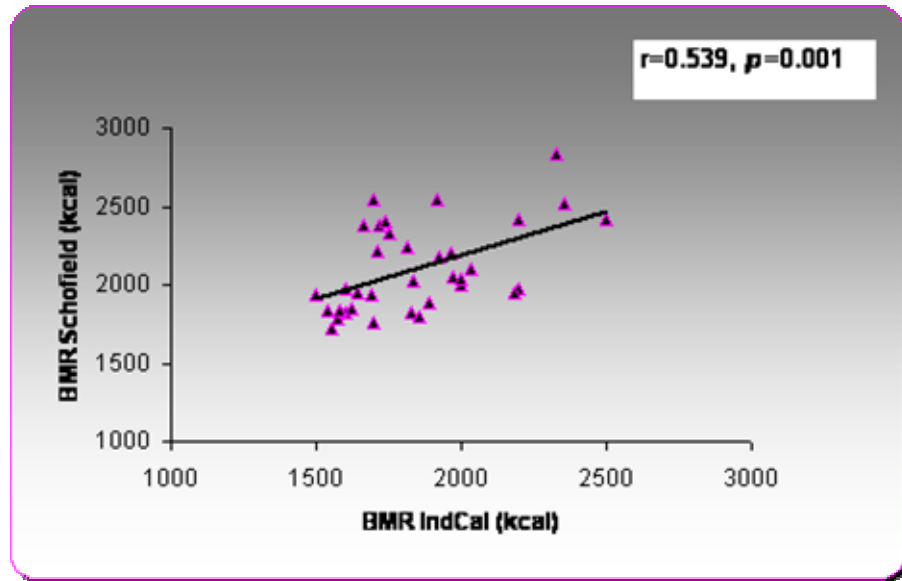
(6)



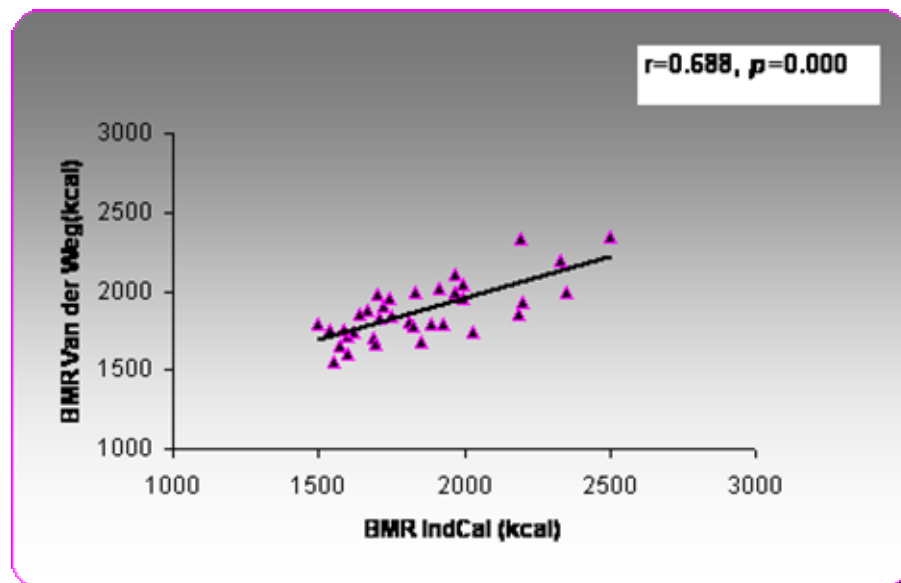
(7)



(8)



(9)



🔗 Ανάλυση Bland-Altman

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης Bland-Altman δίνονται στον πίνακα 2.4 και με τη μορφή γραφικών παραστάσεων στο σχήμα 2. Αυτό που υποδεικνύουν οι παρακάτω τιμές είναι ότι με τη χρήση εξισώσεων όπως αυτή του Owen, του Bernstein και του Van der Weg στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση ($p < 0.05$) υπάρχει αυξημένη πιθανότητα για συστηματικά λάθη. Το γεγονός αυτό μαρτυράται και από την κλίση της ευθείας σε κάθε ένα από τα παρακάτω διαγράμματα. Ισχυρή αρνητική συσχέτιση (π.χ Bernstein, $r = -0.647$, $p < 0.001$) ανάμεσα στο μέσο και τη διαφορά των τιμών της έμμεσης θερμιδομετρίας και της εξίσωσης μαρτυρά ότι το λάθος δεν κατανέμεται τυχαία γύρω από τη μηδενική διαφορά και ότι αυτό μεταβάλλεται καθώς το BMR αυξάνει. Οι εξισώσεις αυτές υπερεκτιμούν το αποτέλεσμα σε χαμηλές τιμές BMR και υποεκτιμούν αυτό σε μεγαλύτερες τιμές BMR.

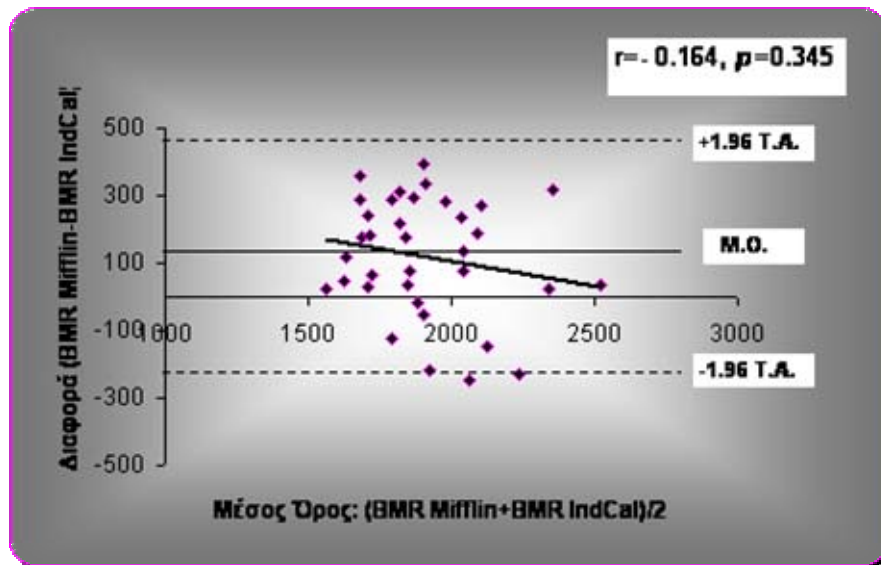
Πίνακας 2.4. Βαθμός συσχέτισης ανάμεσα στο μέσο και τη διαφορά των τιμών της έμμεσης θερμιδομετρίας και της κάθε εξίσωσης.

Εξίσωση	Spearman	P value
Mifflin-St Jeor	-0,164	0,345
Harris & Benedict	-0,326	0,056
Owen	-0,678	0,000
WHOw	+0,093	0,595
WHOwh	-0,050	0,777
Bernstein	-0,647	0,000
Siervo	-0,211	0,223
Schofield	+0,076	0,664
Van der Weg	-0,378	0,025

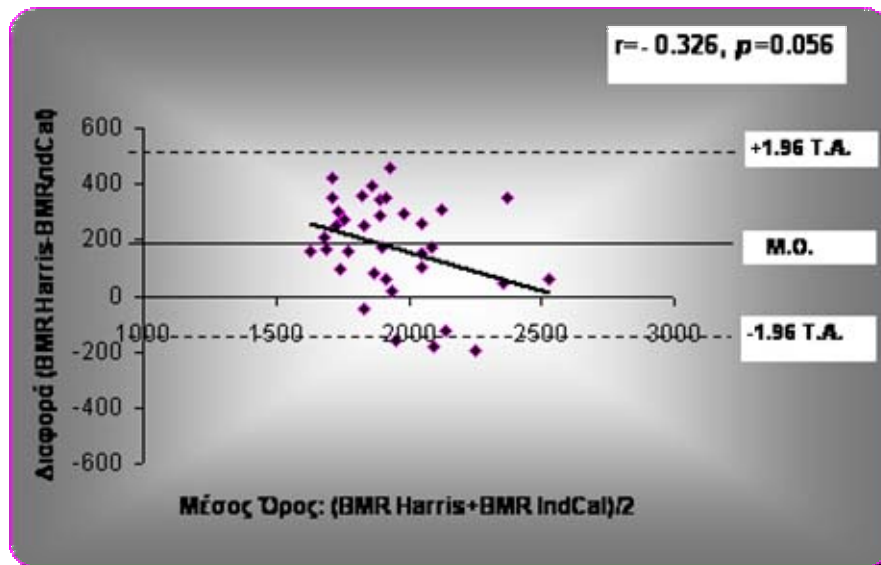
Σχήμα 2. Διαγράμματα Bland-Altman, όπου απεικονίζεται για κάθε εξίσωση εκτίμησης BMR που μελετήθηκε, η διαφορά “BMR από εξίσωση - BMR από μέτρηση” προς το μέσο όρο τους “(BMR από εξίσωση + BMR από μέτρηση)/2”

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| (1): εξίσωση Mifflin-St.Jeor | (6): εξίσωση Siervo |
| (2): εξίσωση Harris-Benedict | (7): εξίσωση Bernstein |
| (3): εξίσωση Owen | (8): εξίσωση Schofield |
| (4): εξίσωση WHOw (βάρος μόνο) | (9): εξίσωση Van der Weg |
| (5): εξίσωση WHOwh (βάρος + ύψος) | |

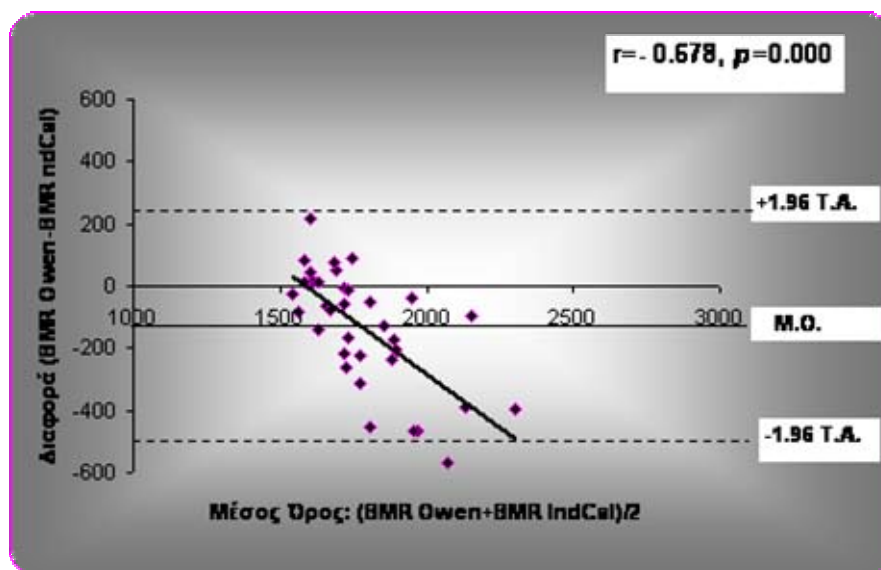
(1)



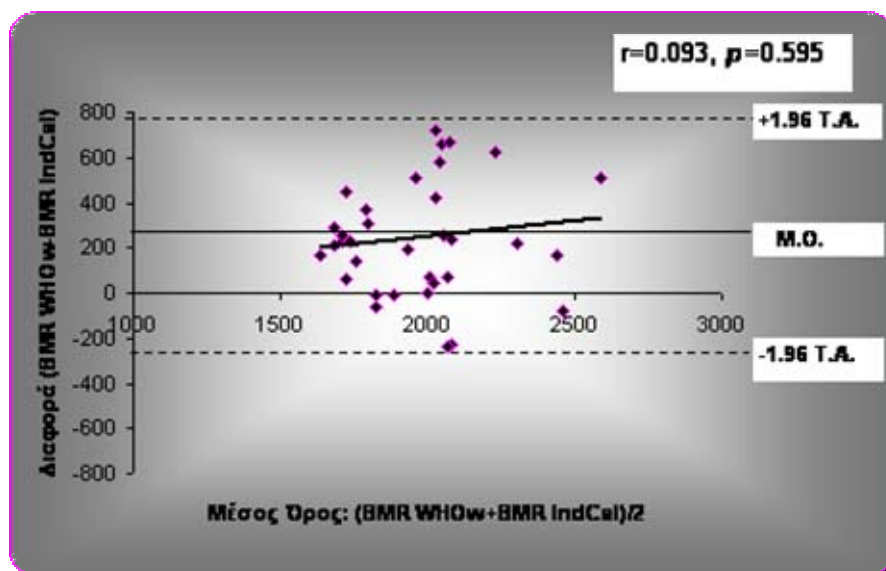
(2)



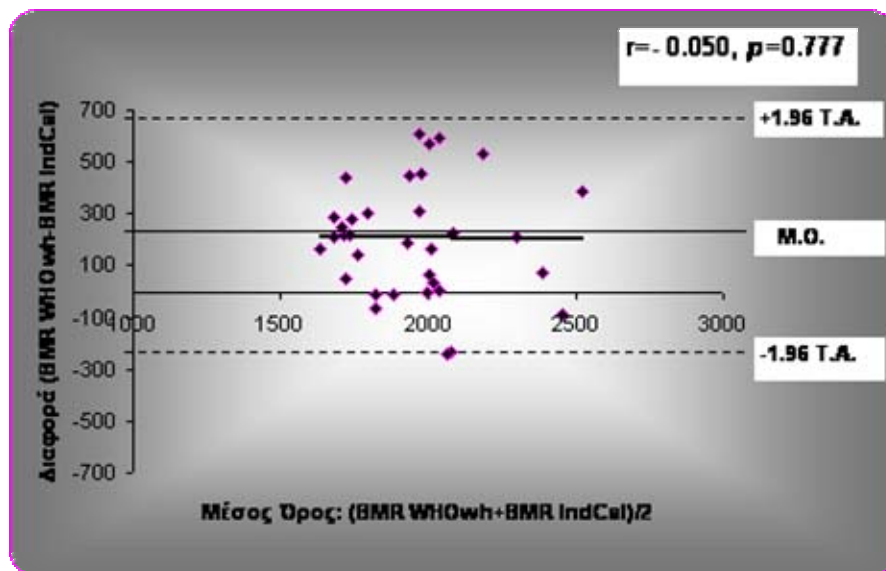
(3)



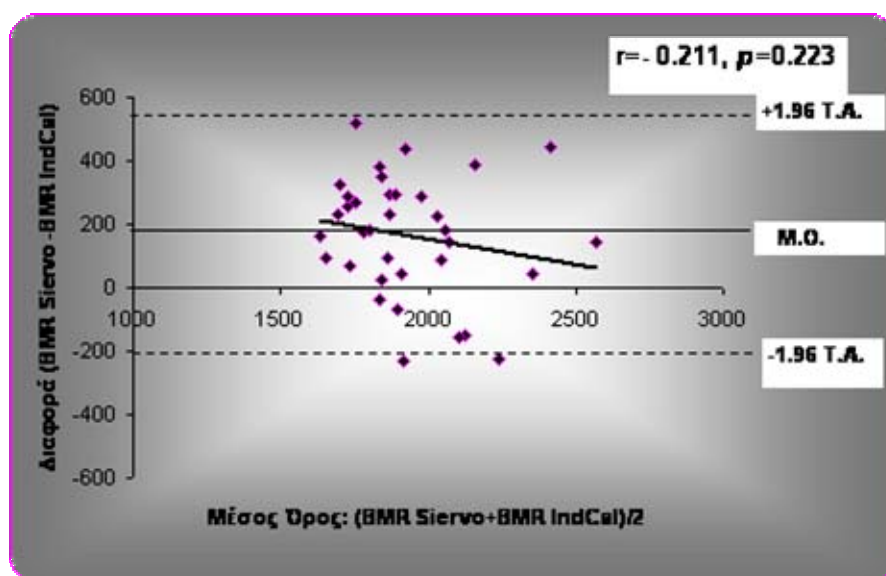
(4)



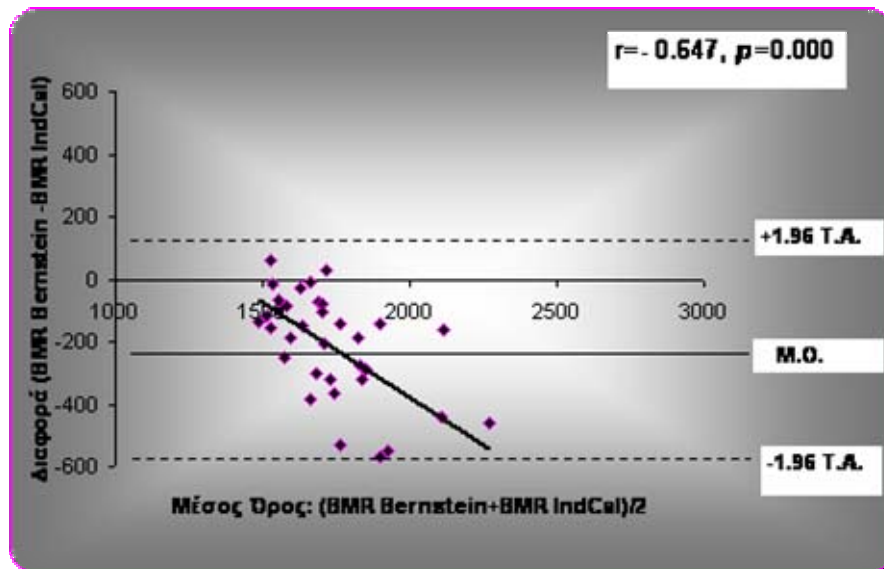
(5)



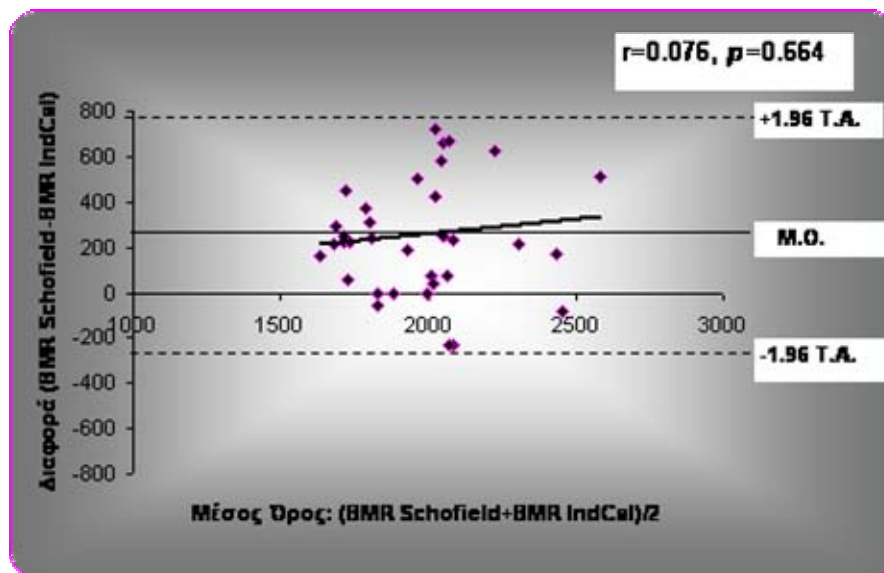
(6)



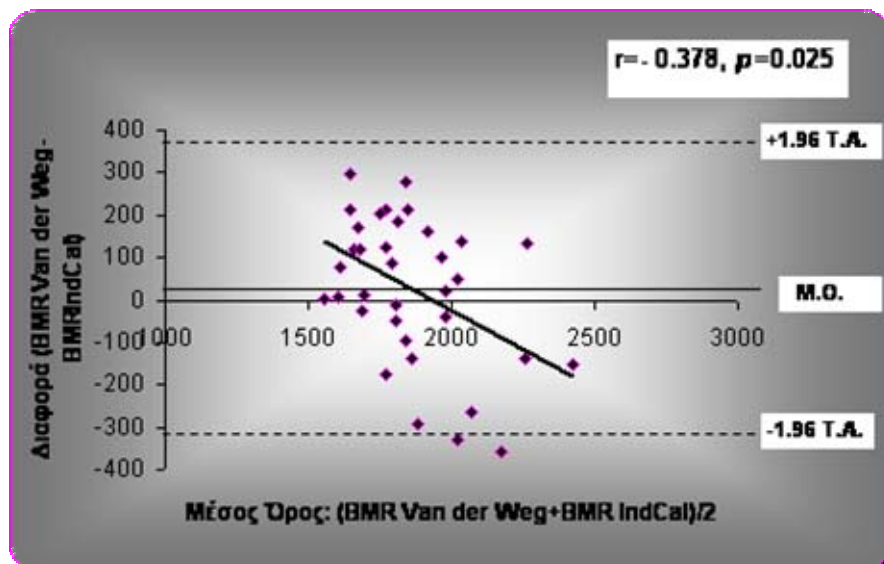
(7)



(8)



(9)



3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η σύγκριση των τιμών που προκύπτουν από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εξισώσεις βασικού μεταβολικού ρυθμού (Harris & Benedict, Owen, WHO/FAO/UNU, Mifflin-St Jeor, Schofield, Siervo, Van der Weg και Bernstein) με τις τιμές της έμμεσης θερμιδομετρίας. Η παλαιότερη από τις παραπάνω εξισώσεις είναι αυτή των Harris-Benedict η οποία έχει επικρατήσει παρόλο που αρκετές φορές έχει αμφισβητηθεί η αξιοπιστία της και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της σε πληθυσμούς που διαφέρουν σημαντικά από τον πληθυσμό από τον οποίο προήλθε.

Από τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη οι περισσότερες υπερεκτιμούν σημαντικά τα αποτελέσματα με μοναδικές εξαιρέσεις αυτές των Owen και Bernstein, οι οποίες τα υποεκτιμούν. Παρόμοιες τιμές δίνουν και άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε ευρωπαϊκούς πληθυσμούς (π.χ De Lorenzo (2000), στους Ιταλούς). Η εξίσωση του Harris-Benedict συγκεκριμένα που έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών, έχει βρεθεί ότι συστηματικά υπερεκτιμά το BMR κατά περίπου 5%, παρόλο που ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν μεγαλύτερα ποσοστά της τάξεως του 10%-15% (Robertson JD, 1952 - Owen OE, 1986 - Mifflin Md, 1990 - Cunningham JJ, 1980 - Daly JM, 1985). Στην παρούσα μελέτη το ποσοστό αυτό ισούται με ~10,5%.

Σημαντικά ποσοστά υπερεκτίμησης προέκυψαν και από τη χρήση των εξισώσεων Schofield και WHO παρόλο που οι εξισώσεις αυτές θεωρητικά τουλάχιστον θεωρούνται περισσότερο κατάλληλες για τον ελληνικό πληθυσμό, καθώς το 47% των ατόμων που συμπεριλήφθηκαν στις αναλύσεις ήταν Ιταλοί. Ωστόσο, επειδή ένα μεγάλο μέρος των ατόμων αυτών ήταν νεαράς σχετικά ηλικίας και αρκετά δραστήρια, είναι αναμενόμενο οι εξισώσεις αυτές να υπερεκτιμούν το BMR παχύσαρκων ατόμων με καθιστική ζωή.

Η εξίσωση που αποδείχθηκε ότι δίνει τιμές πλησιέστερες στις πραγματικές είναι αυτή του Van der Weg, καθώς παρουσιάζει έναν αρκετά ισχυρό συντελεστή συσχέτισης ($r=0.688$) ενώ τα ποσοστά των ατόμων που βρίσκονται εκτός του αποδεκτού εύρους τιμών ($\pm 10\%$) είναι τα μικρότερα, εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες εξισώσεις. Παρόλα αυτά και η εξίσωση αυτή παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα που δε μπορούμε να παραβλέψουμε. Σύμφωνα με την ανάλυση Bland-Altman εμφανίζει αυξημένη πιθανότητα συστηματικού σφάλματος. Ωστόσο, ο λόγος που, κατά τη γνώμη μου, η εξίσωση αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα είναι ότι στην παραγματικότητα εκτιμά την ενεργειακή δαπάνη ηρεμίας και όχι το βασικό μεταβολικό ρυθμό και οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο χώρο του εργαστηρίου θεωρώ ότι ήταν περισσότερο αντιπροσωπευτικές της REE και όχι του BMR. Επίσης, η εξίσωση αυτή προέρχεται από γυναικείο και μόνο πληθυσμό

με σωματικό βάρος που κάλυπτε ένα ιδιαίτερα μεγάλο εύρος. Ήταν γυναίκες φυσιολογικού βάρους, υπέρβαρες και παχύσαρκες και γι' αυτό το λόγο η εξίσωση μπορεί να γενικευθεί και σε άλλα δείγματα. Αντιθέτως, εξισώσεις, όπως του Harris-Benedict, που προέρχονται από δείγματα στα οποία η συμμετοχή παχύσαρκων ατόμων ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη, είναι αναμενόμενο να μη δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών παχύσαρκων ασθενών, που έχουν υψηλά ποσοστά σωματικού λίπους και χαμηλά ποσοστά μυϊκής μάζας

Συνοψίζοντας, αυτό που μπορούμε να πούμε, είναι ότι λόγω του πολύ μικρού αριθμού του δείγματος ($n=35$) δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ένα γενικό συμπέρασμα και να προτείνουμε κάποια από τις παραπάνω εξισώσεις ως την πλέον κατάλληλη για το γυναικείο ελληνικό πληθυσμό. Άλλες υπερεκτιμούν και άλλες υποεκτιμούν το BMR ενώ η πιθανότητα για συστηματικά λάθη είναι πάντα ένα ενδεχόμενο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Abdul G Dulloo** and Jean Jacque. Adaptive reduction in basal metabolic rate in response to food deprivation in humans: a role for feedback signals from fat stores. *Am J Clin Nutr* 1998;68:599–606.
2. **Acheson KJ**, Zahorska-Markiewicz B, Pittet Ph, Anantharaman K, Jéquier E. Caffeine and coffee: their influence on metabolic rate and substrate utilization in normal and obese individuals. *Am J Clin Nutr* 1980;33:989–97.
3. **Albu J**, Shur M, Curi M, Murphy L, Heymsfield SB & Pi-Sunyer FX (1997): Resting metabolic rate in obese, premenopausal black women. *Am. J. Clin. Nutr.* 66, 531-538
4. **Almuzaini KS**, Potteiger JA & Gree SB (1998) Effects of split exercise sessions on excess post exercise oxygen consumption and resting metabolic rate. *Can J Appl Physiol* 23, 433–443.
5. **Arciero PJ**, Goran MI, Gardner AM, Ades PA, Tyzbir RS, Poehlman ET. A practical equation to predict resting metabolic rate in older females. *J Am Geriatr Soc.* 1993;41:389-395
6. **Arciero PJ**, Goran MI, Gardner AM, Ades PA, Tyzbir RS, Poehlman ET. A practical equation to predict resting metabolic rate in older men. *Metabolism.* 1993;42:950-957
7. **ASPEN**. American Society for Parental and Enteral Nutrition. The science and practice of nutritional support. Kendall/Hunt Publishing Company, USA. 2001 p. 118-23
8. **Bahr R**, Gronnerod O & Sejersted OM (1992) Effect of supramaximal exercise on excess post exercise O₂ consumption. *Med Sci Sports Exerc* 24, 66–71.
9. **Ballor, D. L.**, and E. T. Poehlman. Resting metabolic rate and coronary-heart-disease risk factors in aerobically and resistance trained women. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 968–974, 1992.
10. **Bessard T**, Schutz Y, Jéquier E. Energy expenditure and postprandial thermogenesis in obese women before and after weight loss. *Am J Clin Nutr.* 1983 Nov;38 (5):680–693
11. **Boothby WM**, Berkson J, Dunn HL. Studies of the energy of the metabolism of normal individuals: a standard for basal metabolism with a nomogram for clinical application. *Am J Physiol* 1936;116:468-84
12. **Borsheim E**, Knardahl S, Hostmark AT & Bahr R (1998) Adrenergic control of post-exercise metabolism. *Acta Physiol Scand* 162, 313–323.
13. **Broeder, C. E.**, K. A. Burrhus, L. S. Svanevik, and J. H. Wilmore. The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *Am. J. Clin. Nutr.* 55: 802–810, 1992.

14. **Butte NF**, Hopkinson JM, Mehta N, Moon JK, Smith EO. Adjustments in energy expenditure and substrate utilization during late pregnancy and lactation. *Am J Clin Nutr* 1999;69:299–307.
15. **Calder WA III**. Size, Function, and life History. New York: Dover Publications, Inc; 1996
16. **Censi L**, Toti E, Pastore G, Ferro-Luzzi A. The basal metabolic rate and energy cost of standardised walking of short and tall men. *Eur J Clin Nutr*. 1998 ; 52(6): 441-6.
17. **Clark HD**, Hoffer LJ. Reappraisal of the resting metabolic rate of normal young men. *Am J Clin Nutr*.1991;53:21-26. Comment in: *Am J Clin Nutr*. 1991;54:613-614.
18. **Cunningham JJ**. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr*. 1980;33:2372-2374
19. **Cunningham JJ**. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. *Am J Clin Nutr*. 1991;54:963-9
20. **Da Rocha**, Eduardo E Moreira; Alves, Valeria Girard F; Silva, Monica Hissa N; Chiesa, Carlos A; da Fonseca, Rosana Barcellos V .Can measured resting energy expenditure be estimated by formulae in daily clinical nutrition practice?. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2005; 8(3): 319-328
21. **Daly JM**, Heymsfield SB, Head CA, Harvey LP, Nixon DW, Katzeff H, Grossman GD. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equation. *Am J Clin Nutr* 1985;42:1170-4
22. **Danforth E**. Diet and obesity. *Am J Clin Nutr* 1985;41:1132-45
23. **Danzi S**, Klein I. Thyroid hormone and blood pressure regulation. *Curr Hypertens Rep*. 2003; 5(6): 513-20.
24. **Despres JP**, Ross R, Lemieux S. Imaging techniques applied to the measurement of human body composition. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Hyman Body Composition*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1996, pp. 149-66
25. **Dietz WH**, Bandini LG, Schoeller DA. Estimates of metabolic rate in obese and nonobese adolescents. *J PEDIATR* 1991;118:146-9
26. **Dubois D**, Dubois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med*. 1916;17:863-71
27. **Dulloo AG**, Geissler CA, Horton T, Collins A, Miller DS. Normal caffeine consumption: influence on thermogenesis and daily energy expenditure in lean and postobese human volunteers. *Am J Clin Nutr* 1989;49:44–50.

28. **Eckel RH.** Obesity in heart disease. A statement for healthcare professionals from the Nutrition Committee, American Heart Association. *Circulation* 1997;96:3248-50
29. **Elia M.** Energy expenditure in the whole body. In: Kinney JM, Tucker HN, eds. *Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries*. New York: Raven Press;1992, pp.19-59
30. **Elia M.** Organ and tissue contribution to metabolic rate. In: Kinney JM, Tucker HN, eds. *Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries*. New York: Raven Press; 1992, pp. 61-80
31. **Firouzbakhsh S, Mathis RK, Dorchester WL, et al.** Measured resting energy expenditure in children. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 1993;16:136-42
32. **Fleisch A.** Le métabolisme basal standard et sa détermination au moyen du "Metabocalculator". *Helv Med Acta* 1951;18:23-45
33. **Fontaine KR, Barofsky I.** Obesity and health related quality of life. *Obes Rev* 2001;2:173-82
34. **Food and Agricultural Organization/World Health Organization/United Nations University.** Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation World Health Organization Technical Report Series 724. Geneva, Switzerland: WHO; 1985
35. **Food and Nutrition Board,** Commission on Life Sciences, National Research Council. Recommended Dietary Allowances, 10th ed. Washington, DC: National Academy Press, 1989;24-38
36. **Forbes GB.** Total body potassium. In: *Human Body Composition: Growth, Aging, Nutrition, and Activity*. New York: Springer-Verlag; 1987, pp.37-50
37. **Frankefield DC, Muth ER, Rowe WA.** The Harris-Benedict studies of human basal metabolism: history and limitations. *J Am Diet Assoc.* 1998;98:439-45
38. **Frankefield D., Roth-Yousey L., Compher C.** Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy non-obese and obese adults: A systematic review. *Journal of the American Dietetic Association.* 2005; 105: 775-788
39. **Frankefield DC, Rowe WA, Smith JS, Cooney RN.** Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and nonobese people. *J Am Diet Assoc.* 2003;103:1152-1159
40. **Freedman-Akabas S, Colt E, Kissilef HR & Pi-Sunyer FX (1985)** Lack of sustained increase in VO₂ following exercise in fit and unfit subjects. *Am J Clin Nutr* 41, 545–549.
41. **Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, et al.** Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol.* 1998;275:E249-58

42. **Galloway VA**, Leonard WR, Ivakine E. Basal metabolic adaptation of the Evenki reindeer herders of Central Siberia. *American Journal of Human Biology*.2000.12: 75-87.
43. **Gannon B**, DiPietro L & Poehlman ET (2000): Do African Americans have lower energy expenditure than Caucasians? *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 22, 4-13
44. **Ganong WF**. Review of Medical Physiology. Los Altos, CA: Lange Medical Publications. 1965.
45. **Goldberg GR et al** . Longitudinal assessment of energy expenditure in pregnancy by the doubly labeled water method. *Am J Clin Nutr*.1993;57:494
46. **Grande E** Body weight, composition and energy balance. In: Olson RE, Broquist HP. Chichester CO, Darby WJ, Kolbye AC Jr, Stalvey RM, eds. *Nutrition Reviews' Present Knowledge in Nutrition*, 5th ed. New York: The Nutrition Foundation, 1984:7-18
47. **Guo SS**, Roche AF, Chumlea WC, et al. The predictive value of childhood body mass index values for overweight at age 35 y. *Am J Clin Nutr* 1994;59:810-9
48. **Harris JA**, Benedict FG. A biometric Study of Basal Metabolism in Man. Pyblication no. 279. Washington, DC: Carnegie Instute of Washington; 1919
49. **Hayter JE**, Henry CJF. A re-examination of basal metabolic predictive equations: The importance of geographic origin of subjects in sample selection. *Eur J Clin Nutr.* 1994;48:702-707
50. **Hayter JE**, Henry CJK. Basal metabolic rate in human subjects migrating between tropical and temperate regions: A longitudinal study and review of previous work. *European Journal of Clinical Nutrition.* 1993; 47:724-734.
51. **Henry CJK**, Piggot S, Emery B. 1987. Basal metabolic rate and diet-induced thermogenesis in Asians living in Britain. *Human Nutrition: Clinical Nutrition* 41C:397-402.
52. **Henry CJ**, Rees DG. New predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in tropical peoples .*Eur J Clin Nutr.* 1991; 45(4): 177-85.
53. **Herring JL**, Mole PA, Meredith CN & Stern JS (1992) Effect of suspending exercise training on resting metabolic rate in women. *Med Sci Sports Exerc* 24, 59–65.
54. **Heymsfield SB**, Ross R, Wang ZM, Frager D. Imaging techniques of body composition: advantages of measurement and new uses. In: Carlson-Newberry SJ, Costello RB, eds. *Imaging Technologies for Nutrition Research*. Washington, DC: National Academy Press; 1997, pp. 127-50
55. **Higgins HL**, Means JH. The effect of certain drugs on the respiratory and gaseous metabolism in normal human subjects. *J Pharmacol Exp Ther* 1915;7:1–9.

56. **Hildesheimer M**, Muchnik C, Rubinstein M, Molho M. Basic metabolic rate in emotional stress: its potential influence on cochlear function. *Laryngoscope*. 1985; 95(1): 63-6.
57. **Horton ES**. Introduction: an overview of the assessment and regulation of energy balance in humans. *Am J Clin Nutr* 1983;38:972-7
58. **Jakicic JM & Wing RR** (1998): Differences in energy expenditure in African American vs. Caucasian overweight females. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 22, 236-242
59. **James WP**. Basal metabolic rate: Comments on the new equations. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1985;39C(suppl 1):92-96
60. **Jequier E**, Acheson K, Schutz Y Assessment of energy expenditure and fuel utilization in man. *Ann Rev Nutr* 1987;7:187-208
61. **Katzmarzyk PT**, Leonard WR, Crawford MH, Sukerink RI. 1994. Resting metabolic rate and daily energy expenditure between two indigenous Siberian populations. *American Journal of Human Biology* 6:719-730.
62. **Kimm SYS**, Glynn NW, Aston CE, Poehlman ET & Daniels SR (2001): Effects of race, cigarette smoking, and use of contraceptive medications on resting energy expenditure in young women. *Am. J. Epidemiol.* 154, 718-724
63. **Kinney JM**, Lister J, Moore FD. Relationship of energy expenditure to total exchangeable potassium. *Ann N Y Acad Sci.* 1963;10:711-22
64. **Klausen B.**, S. Toubro, A. Astrup. Age and sex effects on energy expenditure. *Am. J. Clin. Nutr.* 1996; 65: 895-907
65. **Kleiber M**. The fire of Life: An introduction to Animal Energetics. New York: Wiley; 1961
66. **Kumanyika SK (1999)**: Understanding ethnic differences in energy balance: can we get there from here? *Am. J. Clin. Nutr.* 70, 1-2
67. **Lohman TG**. Dual energy x-ray absorptiometry. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human Body Composition*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1996, pp.63-78
68. **Luke A**, Schoeller DA. Basal metabolic rate, fat-free mass, and body cell mass during energy restriction. *Metabolism*. 1992; 41(4): 450-6.
69. **Maehlum S**, Grandmontagne M, Newsholme EA & Sejersted OM (1986) Magnitude and duration of excess post exercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metabolism* 35,425-429.
70. **Maffeis CC**, Schutz Y, Micciolo R, Zocante L, Pinelli L. Resting metabolic rate in six- to ten-year-old obese and nonobese children. *J PEDIATR* 1993;122:556-62

71. **Mahan L.K.**, Escott-Stump S. Krause's Food, Nutrition, & Diet Therapy. 2000. Laura E. Matarese.
72. **McArdle WD**, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology, 2nd ed. Philadelphia: Lea and Febiger, 1986
73. **Melanson EL**, Sharp TA, Seagle HM, et al. (2002) Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrition oxidation. *J Appl Physiol* 92, 1045–1052.
74. **Melby C**, Scholl C, Edward G & Bullough R (1993) Effect of acute resistance exercise on post exercise energy expenditure and resting metabolic rate. *J Appl Physiol* 75, 1847–1853.
75. **Mifflin Md**, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr* 1990;51:241-247
76. **Moore FD**, Olesen KH, McMurray JD, Parker HV, Ball MR, Boyden CM. The Body Cell Mass and Its Supporting Environment. Philadelphia: WB Saunders; 1963
77. **Morgan, J.B.**, and D. A. York. Thermic effect of feeding in relation to energy balance in elderly men. *Ann. Nutr. Metab.* 1983;27: 71-77
78. **Morgan WP**. Psychogenic factors and exercise metabolism: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1985; 17: 309-316.
79. **Muller MJ**, Bosy-Westphal A, Klaus S, et al. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr*. 2004;80:1379-90
80. **Nicklas BJ**, Toth MJ, Goldberg AP & Poehlman ET (1997): Racial differences in plasma leptin concentrations in obese premenopausal women. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 82, 315-317
81. **Osterberg KL & Melby CL** (2000) Effect of acute resistance exercise on post exercise oxygen consumption and resting metabolic rate in young women. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 10, 71–81.
82. **Owen OE**, Holup JL, Dalessio DA, Craig ES, Polansky M, Smalley JK, Kavle EC, Bushman MC, Owen LR, Mozzoli MA, Kendrick Z, Boden GH. A reappraisal of the caloric requirements of men. *Am J Clin Nutr* 1987;46:875-885
83. **Owen OE**, Kavle E, Owen RS, Polansky M, Caprio S, Mozzoli MA, Kendrick ZN, Bushman MC, Boden G. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *Am J Clin Nutr* 1986;44:1-19

84. **Piers LS**, Soares MJ, McCormack LM, O' Dea K. Is there evidence for an age-related reduction in metabolic rate? *J Appl Physiol* .1998; 85(6): 2196-2204
85. **Poehlmann ET**. Regulation of energy expenditure in aging humans. *Geriatric Bioscience*.1993; 41:552
86. **Poehlman ET**, Toth MJ, Webb GD. 1993. Sodium-potassium pump activity contributes to the age-related decline in resting metabolic rate. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 76:1054-1057.
87. **Popkin Bm**. The nutrition transition and obesity in the developing world. *J Nutr* 2001;131:871S-873S
88. **Quinn TJ & Vroman NB** (1994) Post exercise oxygen consumption in trained females: effect of exercise duration. *Med Sci Sports Exerc* 26, 908–913.
89. **Ravussin E**, Bogardus C. A brief overview of human energy metabolism and its relationship to essential obesity. *Am J Clin Nutr* 1992;55:242S-5S
90. **Ravussin E**, Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr* 1989;49:968-975
91. **Reeves MM**, Capra S. Predicting energy requirements in the clinical setting: are current methods evidence based? *Nutr Rev*. 2003;61:143-51
92. **Robertson JD**, Reid DD. Standards for the basal metabolism of normal people in Britain. *Lancet* 1952;1:940-3
93. **Rode A**, Shephard RJ. 1995. Basal metabolic rate of Inuit. *American Journal of Human Biology* 7:723-729.
94. **Schmidt WD**, O'Connor PJ, Cochrane JB, Cantwell M. Resting metabolic rate is influenced by anxiety in college men. *Journal of Applied Physiology*.1996;80: 638-642
95. **Schofield C**. An annotated bibliography of source material for basal metabolic rate data. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985;39C(suppl 1):42-91
96. **Schofield WN**. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985;39C(suppl 1):5-41
97. **Schutz Y**, Golay A, Felber JP, Jequier E. Decreased glucose-induced thermogenesis after weight loss in obese subjects: a predisposing factor for relapse of obesity? *Am J Clin Nutr*. 1984 Mar;39(3):380-7
98. **Seidell JC**. Obesity in Europe: scaling an epidemic. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1995;19:S1-4

99. **Sharp TA**, Bell ML, Grunwald GK, Schmitz KH, Sidney S, Lewis CE, Tolan K & Hill JO (2002): Differences in resting metabolic rate between white and African_American young adults. *Obes. Res.*10, 726-732
100. **Sjodin**, A. M., A. H. Forslund, K. R. Westerterp, A. B.Andersson, J. M. Forslund, and L. M. Hambraeus. The influence of physical activity on BMR. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28:85–91, 1996
101. **Smith J** & McNaughton L. The effects of intensity of exercise on excess post exercise oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. (1993) *Eur J Appl Physiol* 67, 420–425.
102. **Soares MJ**, Francis DG, Shetty PS. 1993. Predictive equations for basal metabolic rates of Indian males. *European Journal of Clinical Nutrition* 47:389-394.
103. **Soares MJ**, Piers LS, O'Dea K, Shetty PS. No evidence for an ethnic influence on basal metabolism: an examination of data from India and Australia. *Br J Nutr.* 1998 Apr;79(4):333-41.
104. **Soares MJ**, Shetty PS. Basal metabolic rates and metabolic economy in chronic undernutrition. *Eur J Clin Nutr.* 1991; 45(7):363-73.
105. **Sorensen MV**, Leonard WR, Mosher MJ, Spencer GJ, Spitsyn V, Shenin V. Correlates of variation in basal metabolism of the Buriat of southern Siberia. *American Journal of Human Biology.*1999.11: 130.
106. **Stroud MA**. Increased basal metabolic rate after sustained exercise in a cold environment. 1987;*The Lancet* 8545:1327.
107. **Sturm R**. The eggects of obesity, smoking, and drinking on medical problems and costs. Obesity outranks both smoking and drinking in its deleterious effects on health and health costs. *Health Aff (Millwood)* 2002;21:245-53
108. **Sun M**, Gower A B, Bartolucci A A, Hunter G R, Figueroa-Colon R, Goran M I. A longitudinal study of resting energy expenditure relative to body composition during puberty in African American and white children1–3*Am J Clin Nutr* 2001; 73:308–15.
109. **Torun B et al**. Energy requirements and dietary recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old. *European Journal of Clinical Nutrition.* 1996; 50:37
110. **Troiano RP**, Flegal KM. Overweight children and adolescents: description, epidemiology, and demographics. *Pediatrics* 1998;101:S497-504
111. **Ulijaszek SJ**, Strickland SS. Basal metabolic rate and physique of Gurkha and British soldiers stationed in Britain, UK. *Annals of HumanBiology* .1991;18:245-252.

112. **Visser M.**, P. Deurenberg, W. A. van Staveren, and J. G. A. J. Hautvast. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis in young and elderly subjects: relationship with body composition, fat distribution, and physical activity level. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995 ;61: 772-778
113. **Wang ZM**, Deurenberg P, Guo SS, et al. Six-compartment body composition model: inter-method comparisons of total body fat measurements. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1998;22:329-37
114. **Webb P.** Human Calorimeters. New York: Praeger, 1985
115. **Webb, P.** 24-hour energy expenditure and the menstrual cycle. (1986). *American Journal of Clinical Nutrition* 44, 614-619
116. **Weigley ES.** Average? Ideal? Desirable? A brief review of height-weight tables in the United States. *J Am Diet Assoc* 1984;84:417-23
117. **Welle SL**, Amatruda JM, Forbes GB, Lockwood DH. Resting metabolic rates of obese women after rapid weight loss. *J Clin Endocrinol Metab.* 1984 Jul;59(1):41–44
118. **Welle S**, Nair K. Relationship of resting metabolic rate to body composition and protein turnover. *Am J Physiol* 1990;258:E990-8
119. **West GB**, Brown JH, Enquist BJ. The fourth dimension of life: fractal geometry and allometri scaling of organisms. *Science.* 1999;284:1677-9
120. **Westerterp KR.** Food quotient, respiratory quotient, and energy balance. *Am J Clin Nutr* 1993;57:759S-65S
121. **Weststrate JA & Hautvast GAJ.** The effects of short-term carbohydrate overfeeding and prior exercise on resting metabolic rate ad diet-induced thermogenesis. (1990) *Metabolism* 39,1232–1239.
122. **Weststrate JA**, Weys P, Poortvliet E, Deurenberg P &Hautvast JGAJ (1990) Lack of a systematic sustained effect of prolonged exercise bouts on resting metabolic rate in fastingsubjects. *Eur J Clin Nutr* 44, 91–97.
123. **Weyer C**, Snitker S, Bogardus C & Ravussin E (1999): Energy metabolism in African Americans: potential risk factors for obesity. *Am J Clin Nutr* 70, 13-20
124. **Whatley, J. E.**, W. J. Gillespie, J. Honig, M. J. Walsh, A. L. Blackburn, and G. L. Blackburn. Does the amount of endurance exercise in combination with weight training and a very-low energy diet affect resting metabolic rate and body composition? *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 1088–1092, 1994.
125. **Whitaker RC**, Wright JA, Pepe MS, et al. Predicting obesity in young adulthood from childhood and parental obesity. *N Engl J Med* 1997;337:869-73

126. **Whitney EN, Rolfes SR.** Understanding Nutrition.ed 9. Belmont, California. 2002. Wadsworth-Thomson Learning.
127. **Williams MH .** Nutrition for Health, Fitness & Sport.5th edition. The McGraw-Hill Companies, Inc. 1976
128. **Williamson DL & Kirwan JP** (1997) A single bout of concentric resistance exercise increases basal metabolic rate 48 hours after exercise in healthy 59-77-year-old men. J Gerontol 52A,M352–M355
129. **Wolf Am, Colditz GA.** Current estimates of the economic cost of obesity in the United States. Obes Res 1998;6:97-106
130. **World Health Organization.** Energy and protein requirements: report of joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Geneva: World Health Organization, 1985 (Technical Report Series no. 724)
131. **Yamashita J, Hayashi S.** Changes in the basal metabolic rate of a normal woman induced by short-term and long-term alterations of energy intake. Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).1989 Aug;35(4):371-81