

# Θερμιδομετρία

ΑΝΕΣΤΗΣ ΜΠΕΚΡΙΑΔΕΛΗΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

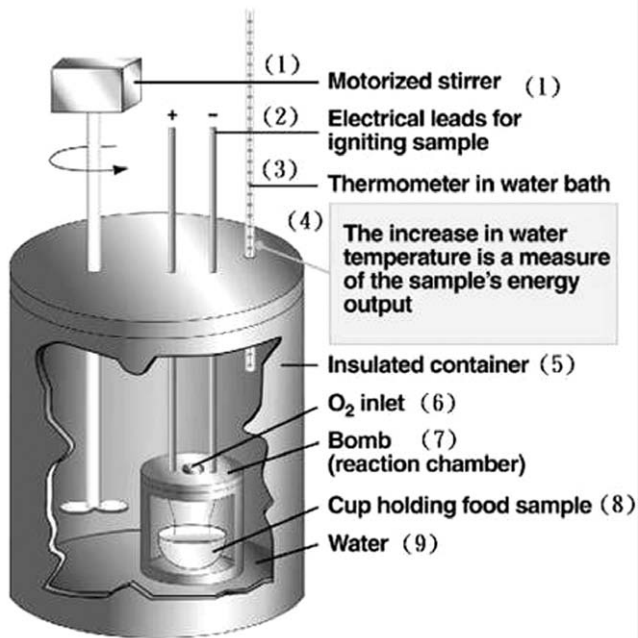
Η έμμεση θερμιδομετρία μετρά τις ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας (resting energy expenditure, REE) ασθενών εκτιμώντας τη συσχέτιση μεταβλητών της ανταλλαγής αερίων. Τα κύτταρα παίρνουν ενέργεια μέσω χημικών αντιδράσεων από τα θρεπτικά συστατικά. Η οξείδωση των θρεπτικών υποστρωμάτων παρέχει πληροφορίες που αφορούν το μεταβολισμό (οξυγόνο καταναλώνεται ευθέως ανάλογα με την ενέργεια που αποδίδεται ως θερμότητα). Για να υπάρχει ισορροπία στις βιολογικές διεργασίες απαιτείται η πρόσληψη επαρκών θρεπτικών συστατικών για τις μεταβολικές ανάγκες των ιστών. Η κατανάλωση ενέργειας σχετίζεται άμεσα με το οξυγόνο που καταναλώνεται. Με την ακριβή μέτρηση της κατανάλωσης οξυγόνου ( $VO_2$ ) και της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ( $VCO_2$ ) εκτιμώνται οι ενεργειακές ανάγκες οι οποίες και αναπληρώνονται. Η έμμεση θερμιδομετρία αποτελεί ένα εξαιρετικό “εργαλείο”, ασφαλές και οικονομικό για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών βαρέως πασχόντων ασθενών Μονάδων Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) και για τον σχεδιασμό της εξισορροπημένης θρεπτικής τους υποστήριξης με στόχο την ελαχιστοποίηση των βλαπτικών επιπτώσεων της δυσθρεψίας.

**Λέξεις Κλειδιά:** Θερμιδομετρία, κατανάλωση οξυγόνου, παραγωγή διοξειδίου.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

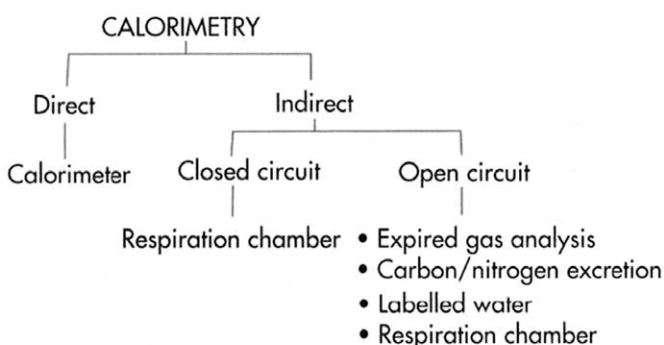
Σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής, όταν ένα υλικό μετασχηματίζεται με χημικές ή φυσικές αντιδράσεις τότε παράγεται ενέργεια με τη μορφή θερμότητας ή έργου. Η μέτρηση της θερμότητας αυτής λέγεται Θερμιδομετρία.<sup>1</sup> Απαιτεί τη χρήση μιας συσκευής, του θερμιδομέτρου - δοχείου (θερμός) (εικόνα 1) που όταν είναι κλειστό απομονώνεται τέλεια από τη θερμότητα του περιβάλλοντός του. Το θερμιδόμετρο αποτελεί το ελεγχόμενο περιβάλλον για την εκτέλεση του πειράματος. Σ' αυτό γίνεται η χημική αντίδραση που παράγει την ενέργεια. Η παραγόμενη θερμότητα διαχέ-

εται μέσα ή έξω από μια γνωστή ποσότητα ύδατος ή άλλου υλικού που περιβάλλει το δοχείο της αντίδρασης. Αν η θερμότητα του περιβάλλοντος υλικού είναι γνωστή και η αύξηση ή η ελάττωση της θερμοκρασίας μετρείται επακριβώς, τότε μπορούμε να μετρήσουμε την απελευθερούμενη θερμότητα της αντίδρασης (άμεση θερμιδομετρία).



Εικόνα 1. Άμεσο θερμιδόμετρο από τον δικτυακό τόπο w3.estmtc.tp.edu.

Η έμμεση θερμιδομετρία μετρά τη θερμότητα που παράγεται από το μεταβολισμό των ζωικών οργανισμών, υπολογίζοντας το οξυγόνο που καταναλώνουν ( $VO_2$ ) για την καύση των παρεχομένων σ' αυτούς θρεπτικών υποστρωμάτων (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), το παραγόμενο από την καύση αυτή  $CO_2$  ( $VCO_2$ ) και την απώλεια αζώτου (με την μορφή ουρίας) έχοντας έτσι ένα μέτρο του μεταβολικού τους ρυθμού. Η θερμότητα των ζώντων οργανισμών μπορεί να μετρηθεί και με την άμεση θερμιδομετρία με την τοποθέτησή τους μέσα σε θερμιδόμετρο. Σχηματική διάκριση της θερμιδομετρίας φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 2. Διάκριση θερμιδομετρίας

Μεγάλος αριθμός εργασιών έχουν δείξει ότι η μέθοδος αυτή είναι ακριβής στην εκτίμηση του μεταβολικού ρυθμού και μπορεί να προβλέψει τις ενεργειακές ανάγκες των βαρέως πασχόντων ασθενών της ΜΕΘ (μηχανικά αεριζομένων ή μη), έτσι ώστε να σχεδιασθεί η εξισορροπημένη διατροφική υποστήριξη τους.

Η δυσθρεψία (υπό - ή υπέρθρεψία) καθώς και η μεταβολική απάντηση ασθενών ΜΕΘ στο stress, έχει διερευνηθεί επιστάμενα τα τελευταία χρόνια και έχει διαπιστωθεί η επίπτωσή τους στην ανάπτυξη πολυοργανικής ανεπάρκειας,<sup>2</sup> στην κακή έκβαση των ασθενών και στο αυξημένο κόστος νοσηλείας.<sup>3</sup> Ομάδες θρεπτικής υποστήριξης έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση και τον υπολογισμό των θρεπτικών αναγκών των ασθενών, αποφεύγοντας κατά το δυνατόν, το αρνητικό ισοζύγιο ενέργειας και τις επιπτώσεις του στην εξάρτηση από τον αναπνευστήρα, στο χρόνο νοσηλείας και στη θνησιμότητα.<sup>4</sup>

Η θρεπτική κατάσταση των ασθενών εκτιμάται με ανθρωπομετρικούς και βιοχημικούς δείκτες, ενώ οι ενεργειακές ανάγκες, ως χιλιοθερμίδες, υπολογίζονται με ειδικές εξισώσεις (Harris - Benedict) και με την έμμεση θερμιδομετρία. Όσον αφορά τις υπολογιστικές εξισώσεις είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες στην κλινική πράξη παρ' ότι δεν υπάρχει ομοφωνία στη χρήση τους καθώς υπάρχουν πολλοί παράγοντες (όπως πυρετός, αυξημένο έργο αναπνοής, σήψη, ηλικία, καταστολή, κατεχολαμίνες κ.α. που μπορούν να δρουν ταυτόχρονα, επηρεάζοντας τις ενεργειακές ανάγκες, χωρίς να προβλέπονται απ' αυτές) και η ερμηνεία τους είναι υποκειμενική.<sup>5,6</sup> Από επιστημονικές εργασίες μόνο 14-32% των ασθενών σιτίζονται παίρνοντας θερμιδική κάλυψη των αναγκών τους με μια παρέκκλιση 10%.<sup>7,8</sup>

Η έμμεση θερμιδομετρία αποτελεί τη χρυσή σταθερά καθορισμού των ενεργειακών αναγκών βαρέως πασχόντων ασθενών.<sup>9</sup> Η αρχή στην οποία στηρίζεται είναι η παραδοχή ότι το ανθρώπινο σώμα μεταβολίζει (καίει) τα παρεχόμενα σ' αυτό θρεπτικά υποστρώματα χρησιμοποιώντας οξυγόνο και παράγοντας διοξείδιο του άνθρακα, νερό και άζωτο.<sup>10</sup> Η έμμεση θερμιδομετρία μετρά την ανταλλαγή των αερίων ( $VO_2$  και  $VCO_2$ ) και οι τιμές τους με τη χρήση της εξίσωσης Weir και ενός

υπολογιστή μας δίνουν το βασικό μεταβολισμό (resting energy expenditure, REE). Η εξίσωση Weir απαιτεί επίσης τη μέτρηση της ημερήσιας απώλειας αζώτου (urine nitrogen, UN) που αντιπροσωπεύει το καταβολισμό των πρωτεϊνών, που δεν φαίνεται στην ανάλυση ανταλλαγής αερίων. Σε περιπτώσεις που δεν προσδιορίζεται UN 24ώρου τότε στην εξίσωση Weir τίθεται μια σταθερά στον αλγόριθμο προσδιορισμού, έχοντας ένα ελάχιστο σφάλμα 1-2%, κλινικά αποδεκτό ώστε να εξοικονομείται χρόνος και χρήμα.<sup>10</sup> Σημαντικές εξισώσεις της έμμεσης θερμιδομετρίας είναι:

$$REE = 3,91 VO_2 + 1,1 VCO_2 - 3,34 UN$$

και

$$\text{ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΠΗΛΙΚΟ} \\ (\text{respiratory quotient, RQ}) = VCO_2 / VO_2$$

Το αναπνευστικό πηλίκιο αντανακλά το χρησιμοποιούμενο για καύσεις θρεπτικό υπόστρωμα που έχει χαρακτηριστική τιμή ( πρωτεΐνες 0,8 - λίπη 0,7 - υδατάνθρακες 1,0) και για μια κλασική διατροφή δυτικού τύπου το RQ είναι 0,81. Σε βαρέως πάσχοντες ασθενείς ΜΕΘ το RQ είναι 0,65 - 1,25 ανάλογα με τη σύνθεση των θρεπτικών υποστρωμάτων.<sup>11</sup>

Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφορα όργανα θερμιδομετρίας με δυο απ' αυτά, το Deltatrak II) - που χρησιμοποιείται και σε εγχώριες ΜΕΘ - και το M-COVX να αναφέρονται σε επιστημονικές εργασίες με συγκρίσιμα αποτελέσματα,<sup>12</sup> όσον αφορά την επαναληψιμότητα τόσο κατά μηχανήμα όσο και μεταξύ τους, σε μηχανικά αεριζόμενους ασθενείς.

## ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΛΙΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Οι βασικές ενδείξεις είναι<sup>13</sup>

### α) Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών

σε βαρέως πάσχοντες ή νοσηλευόμενους ασθενείς με γνωστά προβλήματα δυσθρεψίας ή διατροφικά ελλείμματα και όπου οι υπολογιστικές εξισώσεις θα ήταν ανακριβείς, όπως σε πολλαπλό τραύμα, τραύμα νευρικού συστήματος, παράλυση, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, οξεία παγκρεατίτιδα, νοσογόνος παχυσαρκία, καρκίνος, ασθενείς

χωρίς προσδιορισμό ύψος και βάρος, κ.α.

### β) Αναπνευστική εκτίμηση

σε ασθενείς που αποτυγχάνουν να αποδεσμευθούν από τον αναπνευστήρα ώστε να μετρηθεί το κόστος σε O<sub>2</sub> της αναπνοής και να εκτιμηθεί ο:

$$Vd/ Vt = 1 - (0,863 \times VCO_2/PaCO_2 \times Vm)$$

Η αυξημένη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που μπορεί να είναι αποτέλεσμα υπερσιτισμού με υδατάνθρακες (εκτίμηση με το αναπνευστικό πηλίκιο) καθώς και η υπερβολική χορήγηση θερμίδων που οδηγεί σε αυξημένο VCO<sub>2</sub> δυσκολεύουν την αποδέσμευση από τον αναπνευστήρα.<sup>13</sup>

### γ) Αιμοδυναμική εκτίμηση

σε ανάγκη εκτίμησης του VO<sub>2</sub> για αιμοδυναμική υποστήριξη με ινότροπα, μηχανικά αεριζόμενων ασθενών.

### δ) Σταδιοποίηση σήψης πολυοργανικής ανεπάρκειας

με την εκτίμηση των αιτίων των αυξημένων αναπνευστικών και ενεργειακών απαιτήσεων στα πλαίσια του συνδρόμου συστηματικής φλεγμονώδους αντίδρασης (SIRS), σήψης και MOF. Ασθενείς ΜΕΘ με SIRS έχουν υψηλότερες ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας σε σχέση με μη - SIRS και μη - σηπτικούς ασθενείς.<sup>14</sup>

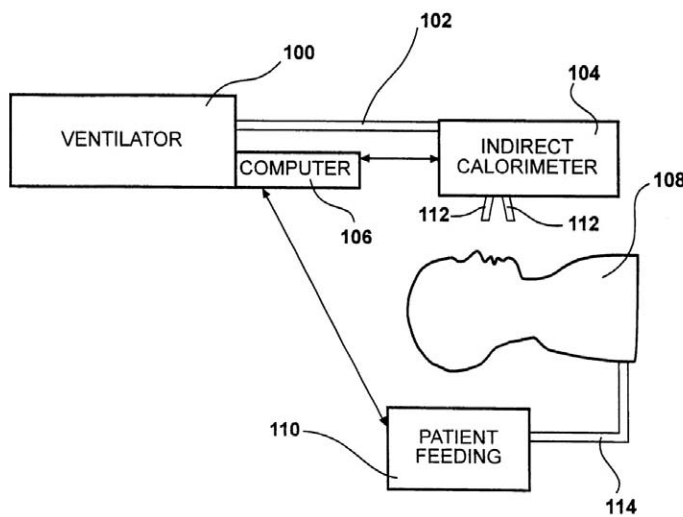
### ε) Εκτίμηση μεταβολικών επιδράσεων φαρμάκων

Η καταστολή, η αναλγησία, η αναισθησία και η μυοχάλαση,<sup>15</sup> όπως και οι β αναστολές προκαλούν ελάττωση του βασικού μεταβολισμού, ενώ η δοβουταμίνη προκαλεί δοσοεξαρτώμενη αύξηση του βασικού μεταβολισμού και του VO<sub>2</sub>.<sup>16</sup> Αποκλείονται ασθενείς με ευρείες διακυμάνσεις του αερισμού και της καρδιακής παροχής, οι άμεσα μετεγχειρητικοί (< 24ώρες) καθώς και αυτοί με πρόσφατο χειρουργικό καθαρισμό τραύματος ή εγκαύματος.

## ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Η έμμεση θερμιδομετρία είναι σχετικά εύκολη, μη επεμβατική και ασφαλής. Γίνεται σε συνεχή ή

διαλείπουσα βάση (χωρίς ομοφωνία) σε μηχανικά αερίζομενους ή μη, ασθενείς. Χρησιμοποιούνται συνήθως συστήματα ανοικτού κυκλώματος που συλλέγουν τα εκπνεόμενα αέρια (εικόνα 3). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα στοματικό σωλήνα ή μάσκα προσώπου που συνδέονται με μια μονής κατεύθυνσης βαλβίδα, μέσω της οποίας τα εκπνεόμενα αέρια εισέρχονται στο μηχάνημα μέτρησης. Εκεί μετρείται η ταχύτητα ροής του εκπνεόμενου αέρα διαμέσου της βαλβίδας και ένα μικρό μέρος του αέρα κατευθύνεται σε ένα ρεζερβουάρ αποθήκευσης και αναλύεται κατά το τέλος κάθε περιόδου μέτρησης. Με την τεχνολογική πρόοδο έχουν γίνει διάφορες τροποποιήσεις της αρχής αυτής και έχουν σχεδιασθεί εύχρηστα και



**Εικόνα 3.** Σύνδεση ασθενή θερμιδομέτρου από το δικτυακό τόπο [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com) αξιόπιστα θερμιδομέτρα, δίνοντας ικανό όγκο πληροφοριών χρήσιμων στην κλινική πράξη.

Σε εργασία των Σμυρνιού και συνεργάτες μετρήθηκαν οι ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας (REE) σε περίοδο 30 λεπτών και συγκρίθηκαν με μετρήσεις 24ώρου. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μετρήσεις 30 λεπτών μπορούν να προβλέψουν ικανοποιητικά το REE στις περισσότερες κλινικές καταστάσεις, τονίζοντας ότι βελτιώνεται η ακρίβεια της μέτρησης όταν γίνεται μεταξύ 11:00 και 15:00 ώρας και όταν ο κατά λεπτό αναπνεόμενος όγκος αέρα, οι σφύξεις και η συστολική αρτηριακή πίεση προσεγγίζουν το μέσο όρο της ημέρας.<sup>17</sup>

Σε εργασία των Πέτρου και συνεργάτες μειώθη-

κε η περίοδος μέτρησης σε 5 λεπτά σταθερής κατάστασης και βρέθηκε καλός συσχετισμός με την μέτρηση των 30 λεπτών σταθερής κατάστασης ιδίως σε αυτόματα αναπνεύοντες ασθενείς και σε κατεσταλμένους.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την μέτρηση πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες που αφορούν τον ασθενή, το περιβάλλον, τον αναπνευστήρα και το μηχάνημα θερμιδομετρίας. Οι σημαντικότεροι απ' αυτούς είναι:

- ο ασθενής να είναι ήρεμος σε ύπτια θέση για τουλάχιστον 30 λεπτά, αποφεύγοντας οποιαδήποτε δραστηριότητα ή κοπιώδη δράση που θα μπορούσε να επηρεάσει τις ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας (κίνηση, φυσιοθεραπεία, αναρρόφηση κ.α. )
- ασθενείς που έχουν διαλείποντα γεύματα μελετώνται 4 ώρες μετά, ενώ αυτοί σε συνεχή στάγδην σίτιση πρέπει να έχουν σταθερό ρυθμό έγχυσης για τουλάχιστον 12 ώρες
- το περιβάλλον να είναι θερμοουδέτερο (200 - 250°C) και ήσυχο. Επιπρόσθετες πηγές χορήγησης συμπληρωματικού οξυγόνου (μάσκες, ρινικοί καθετήρες) σταματούν εάν είναι δυνατόν
- το FIO<sub>2</sub> πρέπει να παραμένει σταθερό κατά την μέτρηση ενώ μεταβολές στις ρυθμίσεις του αναπνευστήρα απαιτούν καθυστέρηση της μέτρησης για 90 λεπτά
- να μην υπάρχουν διαρροές στον αναπνευστήρα και στο σύστημα μέτρησης και όλα τα δεδομένα να συλλέγονται σε σταθερές συνθήκες (steady state, όταν η ανταλλαγή των αερίων σε κυτταρικό επίπεδο είναι ίση με αυτή που μετρείται στις αεροφόρους οδούς και προϋποθέτει σταθερό αερισμό και αιμάτωση κατά την μέτρηση) σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες
- αποφυγή χορήγησης γενικής αναισθησίας για τουλάχιστον 6-8 ώρες πριν
- χορήγηση αναλγησίας ή καταστολής τουλάχιστον 30 λεπτά πριν
- 3-4 ώρες μετά αιμοκάθαρση και 1 ώρα μετά επώδυνη διαδικασία.

#### ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΕΜΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑΣ

Μετά τη σύνδεση με το θερμιδόμετρο μεταβολικό υπολογιστή απαιτούνται 5 λεπτά για τη λήψη των πρώτων δεδομένων, που ελέγχονται για λάθη και ενδείξεις μη σταθερής κατάστασης (αυτόματη ειδοποίηση). Κατόπιν για 15 λεπτά συλλέγονται δεδομένα και τερματίζεται η μέτρηση.

Το εύρος τιμών των μετρούμενων παραμέτρων είναι:<sup>18</sup>

**REE** 1800 - 2200 kcal/24 hr,

**RQ** 0,65 - 1,25 σύμφωνα με τη θρεπτική πρόσληψη,

**VO<sub>2</sub>** 250 ml/min (3 - 4 ml/min/kg ιδανικού βάρους σώματος, Ideal Body Weight - IBW) ± 5% από τη μέση τιμή,

**VCO<sub>2</sub>** 2200 ml/min (2 - 3 ml/min/kg IBW) ± 5% από τη μέση τιμή και κατά λεπτό αναπνεόμενος όγκος ± 10% από τη μέση τιμή.

Το REE αντιπροσωπεύει τον αριθμό των kcal που καίει ο ασθενής και πρέπει να αναπληρωθούν. Το RQ καθορίζει το μίγμα των θρεπτικών συστατικών που καλύπτουν το REE αν και μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον ασθενή, την απάντηση στο στρες, την υποκείμενη πνευμονική νόσο, τις διαταραχές της οξεοβασικής ισορροπίας και τη χρήση φαρμάκων όπως η προποφόλη.<sup>19</sup> Ο υποσιτισμός ελαττώνει το RQ. Το VO<sub>2</sub> μας δίνει πληροφορίες για την κατανάλωση O<sub>2</sub> και για την εκτίμηση του έργου της αναπνοής. Το VCO<sub>2</sub> χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κυψελιδικού νεκρού χώρου και στη διερεύνηση των αιτίων αυξημένων απαιτήσεων κατά λεπτό αερισμού.<sup>17</sup>

Τα δεδομένα που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό της θρεπτικής υποστήριξης του ασθενούς. Έτσι η θερμιδική πρόσληψη στη ΜΕΘ πρέπει να καλύπτει ή σχεδόν να καλύπτει το REE (χωρίς επιπρόσθετες kcal για το στρες και την δραστηριότητα, εφ' όσον υπάρχει επαρκής πρωτεϊνική κάλυψη, 1,5 -2 gr/kg/d ) με εξισορροπημένα μίγματα θρεπτικών ουσιών.<sup>20</sup> Προς αποφυγή των αρνητικών συνεπειών της υπερθρεψίας και με στόχο τη διατήρηση της μυϊκής μάζας, δεν συνιστάται η χορήγηση kcal περισσότερων από το 130% του REE. Αν το REE μετρείται σε ασθενείς με διαλείποντα γεύματα τότε προστίθεται 5% των kcal για τη θερμική δράση της πέψης. Στη ΜΕΘ δεν απαιτείται η αύξηση αυτή γιατί η σίτιση είναι

κατ' εξοχήν συνεχής. Πολύ συχνά παρατηρείται υπερβολική χορήγηση υδατανθράκων σε μηχανικά αεριζόμενους ασθενείς με αποτέλεσμα αυξημένη λιπογένεση που οδηγεί σε αυξημένη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου, πράγμα που επιδεινώνει την εξάρτηση από τον αναπνευστήρα.

Συνεπώς η μέτρηση είναι πολύ χρήσιμη για την εξισορρόπηση των διαλυμάτων των θρεπτικών συστατικών που χορηγούνται στον ασθενή διευκολύνοντας έτσι την αποδέσμευση από τον αναπνευστήρα.

### ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Μπορούν να προκύψουν από:

- διαφυγές αερίων από το κύκλωμα ασθενή - αναπνευστήρα (λάστιχα συνδετικά, γύρω από τον αεροθάλαμο των τραχειοσωλήνων, διαμέσου σωλήνων θωρακικών παροχετεύσεων ή βρογχοπνευμονικών συριγγίων) που παρεμποδίζουν τη συλλογή των αερίων,
- κατά τη περιτοναϊκή κάθαρση ή την αιμοκάθαρση, λόγω απομάκρυνσης του CO<sub>2</sub> από την μεμβράνη του φίλτρου,
- κακή βαθμονόμηση (calibration) του μηχανήματος,
- παρουσία υδρατμών, αναισθητικών αερίων ή άλλων εκτός από το O<sub>2</sub> ή το CO<sub>2</sub>,
- εσωτερικές διαρροές του θερμιδόμετρου,
- μικρή διάρκεια μέτρησης<sup>21</sup>

### ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΛΟΚΕΣ

Ανάλογα με τις περιστάσεις και το χρησιμοποιούμενο μηχάνημα μπορεί να παρατηρηθούν ορισμένες από τις παρακάτω επιπλοκές:

- τα κλειστού κυκλώματος θερμιδόμετρα μπορεί να προκαλέσουν ελάττωση του κυψελιδικού αερισμού λόγω αυξημένου όγκου συμπίεσης του αναπνευστικού κυκλώματος ή να ελαττώσουν τον ουδό διέγερσης του αναπνευστήρα και να οδηγήσουν σε αυξημένο έργο αναπνοής.
- η προσωρινή αποδέσμευση για να συνδεθεί το θερμιδόμετρο μπορεί να οδηγήσει σε ελάττωση του PO<sub>2</sub> και δυσφορία στον ασθενή
- η μη σωστή ρύθμιση του μηχανήματος μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβείς μετρήσεις και κακό χειρισμό του ασθενούς.

**ABSTRACT**  
**Anestis Bekridelis**  
**Calorimetry**

Metabolic monitoring with indirect calorimetry provides the ICU clinician with valuable continuous or intermittent information concerning the patient's oxygen consumption and carbon dioxide production. The nutritional parameters resting energy expenditure ( REE ) and respiratory quotient ( RQ ) provide information about patient's energy needs and substrate utilization. Data from these parameters help clinicians to provide balanced nutritional support to critically ill patients minimizing the risks of under- or overfeeding and the impact they have on patient's outcome and mortality.

**Key Words:** Indirect calorimetry, resting energy expenditure, oxygen consumption, carbon dioxide production.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. <http://www.wikipedia.org/calorimetry>
2. Barlett RH et al. Measurement of metabolism in multiple organ failure. *Surgery* 1982; 10:771-779
3. Villet et al. Negative impact of hypocaloric feeding and energy balance on clinical outcome of ICU patients. *Clin Nutr* 2005; 24: 502-509
4. Vo NM et al. Effects of postoperative carbohydrates overfeeding. *Am Surg* 1987; 53:632-635
5. Malone AM. Methods of assessing energy expenditure in ICU. *Nutr Clin Pract* 2002; 17:21-28.
6. Reeves MM., Capra S. Variation in the application of methods used for predicting energy requirements in acutely ill adult patients: a survey of practice. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57(12): 1530-1535
7. Mc Clave SA et al. Are patients fed appropriately according to their caloric requirements? *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1998; 22:375-381
8. Higgins PA, Daly BJ., Lipson AR., et al. Assessing nutritional status in chronically ill adult patients. *Am J Crit Care* 2006; 15: 166-177
9. McClave SA, McClain CJ, Snider HL. Should indirect calorimetry be used as part of nutritional assessment? *J Clin Gastroenterol* 2001; 33: 14-19
10. Bursztein S. The theoretical framework. In Bursztein S, Elwyn DH, Askanazi J, Kinney JM, eds. *Energy metabolism, indirect calorimetry and nutrition.*: Williams and Wilkins Baltimore 1989; pp 27-83
11. Brandi LS, Grana M, et al. Energy expenditure and gas exchange measurement in postoperative patients: thermodilution vs indirect calorimetry. *Crit Care Med* 1992; 20:1273-1283
12. Singer P, Cohen JD. Clinical applications of indirect calorimetry in the intensive care setting. *Yearbook of Critical Care* 2003
13. Talpers SS, Romberger DJ, Pingleton SK. Nutritional associated increased carbon dioxide production: excess total calories vs high proportion of carbohydrate calories. *Chest* 1992; 102:551-555
14. Moriyama S, Sokamoto K, Tabira Y, et al. Evaluation of oxygen consumption and resting energy expenditure in critically ill patients with systemic inflammatory response syndrome. *Grit Care Med* 1999; 27:2133-2136,
15. Henneberg S, Soderberg D, Groth T, Stjernsrom H, Wiklund L. Carbon dioxide production during mechanical ventilation. *Grit Care Med* 1987; 15:8-13
16. Schaffartzik W, Sanft C, Scharfer JH, Spies C. Different dosages of dobutamine in septic shock patients: determining oxygen consumption with a metabolic monitor integrated in a ventilator. *Intensive Care Med* 2000; 26:1719-1722
17. Smyrnions NA, Curley FJ, Shaker KG. Accuracy of 30-minute indirect calorimetry studies in predicting 24-hour energy expenditure in mechanically ventilated critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 1997; 21:168-174
18. [http://www.pubmed.com/indirect calorimetry:](http://www.pubmed.com/indirect%20calorimetry) principles and applications for managing criti-

- cally ill patients.
19. Wooley J.A.: Use of indirect calorimetry in critically ill patients. In: Merritt R., ed. The American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. Nutrition support practice manual, 2nd edition American Society for Parenteral and Enteral nutrition 2006: 277-280
  20. Holdy K.E.: Monitor energy metabolism with indirect calorimetry: instruments, interpretation, and clinical application. Nutr Clin Pract 2004; 447 -454.
  21. [http://www.guideline.gov/national\\_guideline\\_clearing\\_house/metabolic\\_measurement\\_using\\_indirect\\_calorimetry\\_during\\_mechanical\\_ventilation-2004](http://www.guideline.gov/national_guideline_clearing_house/metabolic_measurement_using_indirect_calorimetry_during_mechanical_ventilation-2004)