

Άρθρο Ανασκόπησης–Review Article

Εκτίμηση μεταβολικών αναγκών στον βαρέως πάσχοντα ασθενή. Τι νεότερο;

Σουλούντση Β^{1α*}, Σχιζοδήμος Θ^{1β}

¹MD, Εντατικολογία

^αΑ Μονάδα Εντατικής Θεραπείας, Γ.Ν.Θ «Γ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ»

^βΒ Μονάδα Εντατικής Θεραπείας, Γ.Ν.Θ «Γ. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ»

*Υπεύθυνη Επικοινωνίας: Paranikolaou Hospital, Exohi 570 10, Thessaloniki, Greece, e-mail: vsoulou@yahoo.g



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

ABSTRACT

Assessment of metabolic demands in critically ill patients:

What's new?

Soulountsi V, Schizodimos Th

Medical nutrition therapy shall be considered for all patients staying in the intensive care unit (ICU), mainly for more than 48 hours. It is well-known that over- and underfeeding are associated with worse outcome, so optimization of nutrition support is one of

the most important goals of clinicians. Prescribing the optimal amount and time of administration of nutritional therapy is particularly difficult in critical ill patients due to numerous factors that may lead to significant daily variations in energy expenditure in and between these patients. In ICU calculating resting energy expenditure (REE) closely reflect all energy requirements involved in the basal metabolism because of minimal physical activity. Predictive equations, indirect calorimetry (IC), and ventilator VCO₂ are the main methods to estimate REE. Nutritional guidelines discourage the use of predictive equations as these formulas unaccounted many factors that affect caloric needs. IC remains the gold standard to adequately prescribe the nutrition therapy. An international multicenter study (ICALIC), supported by two academic societies has recently led to the evaluation of a new generation calorimeter, Q-NRG. It can be used in both mechanically ventilated and spontaneously breathing patients and overcomes the issue of inaccuracy, high cost, and lack of time of the currently used calorimeters. Lastly, REE calculations based on CO₂ measurements from the mechanical ventilator, or the pulmonary arterial catheter have been proposed as a surrogate to IC.

Nevertheless, this method has consistently been shown to be inferior to IC but more accurate than predictive equations.

Λέξεις κλειδιά: έμμεση θερμιδομετρία, ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας, εξισώσεις πρόβλεψης, μέτρηση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα (VCO₂), αναπνευστήρας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διατροφική θεραπεία θα πρέπει να χορηγείται σε όλους τους ασθενείς που θα μείνουν στη μονάδα εντατικής θεραπείας (ΜΕΘ) για > 48 ώρες, σύμφωνα με τις τελευταίες κατευθυντήριες οδηγίες της Ευρωπαϊκής εταιρείας παρεντερικής εντερικής διατροφής (European society of parenteral enteral nutrition, ESPEN)¹, δεδομένου ότι ο κίνδυνος υποσιτισμού σε αυτούς τους ασθενείς είναι μεγάλος. Η αποφυγή του υποσιτισμού είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι συνδέεται με πολύ σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις, όπως η αυξημένη διάρκεια παραμονής στη ΜΕΘ, ο αυξημένος χρόνος μηχανικού αερισμού, η αύξηση των λοιμώξεων, η ανεπάρκεια οργάνων και η αυξημένη θνητότητα². Από την άλλη μεριά, και ο υπερσιτισμός αποτελεί δυνητικό κίνδυνο, ειδικά τις πρώτες ημέρες νοσηλείας, κατά την οξεία φάση της νόσου, περίοδος που συνδυάζεται με αυξημένη ενδογενή παραγωγή ενέργειας². Έτσι, στην καθημερινή πρακτική ο κλινικός γιατρός θα πρέπει να ισορροπεί ανάμεσα στον κίνδυνο υπερσιτισμού από την μία και υποσιτισμού από την άλλη. Στον ασθενή της ΜΕΘ αυτό είναι εφικτό μόνο με την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών ηρεμίας (resting energy expenditure, REE), όποτε αυτό ενδείκνυται στην διάρκεια παραμονής του στην ΜΕΘ³, σύμφωνα και με την σύγχρονη ιατρική πρακτική για εφαρμογή εξατομικευμέ-

νης και στοχευμένης θεραπείας. Οι REE ορίζονται ως όλες οι ενεργειακές απαιτήσεις που εμπλέκονται στον βασικό μεταβολισμό του σώματος για τη διατήρηση των ζωτικών λειτουργιών, όταν δεν υπάρχει καμιά δραστηριότητα. Συνεπώς, στον βαρέως πάσχοντα ασθενή της ΜΕΘ οι REE αντικατοπτρίζουν ουσιαστικά τις συνολικές ενεργειακές δαπάνες λόγω ελάχιστης ή μηδενικής φυσικής δραστηριότητας.

ΠΟΣΟ ΕΥΚΟΛΗ ΕΙΝΑΙ ΟΜΩΣ Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΙΣΙΜΗ ΝΟΣΟ;

Στον βαρέως πάσχοντα ασθενή βρίσκονται σε διαρκή αλληλεπίδραση η φυσική ιστορία της νόσου, η ιδιοσυγκρασιακή φλεγμονώδης αντίδραση και απόκριση του ανοσοποιητικού, όπως και η επίδραση της εφαρμοζόμενης ιατρικής θεραπείας. Έτσι, στις διαχρονικές αλλαγές των REE στη διάρκεια της κρίσιμης νόσου υπεισέρχονται διάφοροι παράγοντες που είτε τις αυξάνουν είτε τις μειώνουν (Πίνακας 1)⁴.

Συνεπώς, ο υπολογισμός της βέλτιστης ποσότητας και του χρόνου χορήγησης της διατροφικής θεραπείας είναι ιδιαίτερα δύσκολος. Σήμερα, ο υπολογισμός των REE στον ασθενή της ΜΕΘ μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- A. Εξισώσεις πρόβλεψης
- B. Έμμεση θερμιδομετρία (ΕΘ) και

C. Μέτρηση του παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα (VCO_2) και του καταναλισκόμενου οξυγόνου (VO_2).

Επίδραση στις ενεργειακές ανάγκες	Παράγοντες που επηρεάζουν τις ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας
Αυξάνουν ενεργειακές ανάγκες	Εγκαύματα Υπεραερισμός Υπερθερμία Υπερθυρεοειδισμός/φαιοχρωμοκύττωμα Φλεγμονή (ιντερλευκίνες, TNF, ιντερφερόνες) Μεταβολική οξέωση Νοσογόνος παχυσαρκία Υπερσιτισμός Διέγερση Σήψη Στρες (επινεφρίνη, γλυκογόνο, κορτιζόλη κλπ)
Ελαττώνουν ενεργειακές ανάγκες	Κώμα Γενική αναισθησία Βαθιά καταστολή Υποθερμία Υποθυρεοειδισμός Υποαερισμός Μυοχάλαση Γλυκονεογένεση Μεταβολική αλκάλωση Σαρκοπενία/καχεξία Ασιτία/υποσιτισμός/κέτωση

TNF (Tumor necrosis factor): Παράγοντας νέκρωσης όγκων

Πίνακας 1. Παράγοντες που επηρεάζουν τις ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας (REE)³.

A. Εξισώσεις πρόβλεψης

Οι εξισώσεις πρόβλεψης (Πίνακας 2) χρησιμοποιούν ανθρωπομετρικές και ζωτικές παραμέτρους για την εκτίμηση των μεταβολικών αναγκών.

Υπάρχουν πολλά ερωτηματικά ως προς την χρήση τους. Στη βιβλιογραφία⁵⁻¹⁰ έχει φανεί ότι οι εξισώσεις πρόβλεψης δεν είναι αξιόπιστες, αλλά ανακρίβεις σε ποσοστό μέχρι και 60%,

δεδομένου ότι δεν είναι σε θέση να λάβουν υπόψη τη μεταβαλλόμενη φυσιολογία του ασθενή της ΜΕΘ. Έτσι, η χρήση τους οδηγεί σε διατροφικούς στόχους υψηλότερους ή χαμηλότερους κατά 500-1000 θερμίδες, με κίνδυνο υπερσιτισμού ή υποσιτισμού αντίστοιχα. Οι κατευθυντήριες οδηγίες^{1,11,12} προτείνουν την χρήση τους μόνο σε απουσία των άλλων μεθόδων

και προτιμούν την χρήση της πιο απλουστευμένης εξίσωσης, δηλ. των 25-30 kcal/kg/ημέρα. Επιπλέον, στην πρώιμη φάση της νόσου (την πρώτη εβδομάδα) προτείνεται οι χορηγούμενες

θερμίδες να μην ξεπερνούν το 70% των υπολογιζόμενων ενεργειακών αναγκών (ΕΑ) με αυτές τις εξισώσεις, ώστε να αποφευχθεί ο υπερσιτισμός¹.

American College of Chest Physicians

25 x βάρος

Αν BMI 16–25 kg/m², χρησιμοποίησε το σύνηθες ΒΣ

Αν BMI > 25 kg/m², χρησιμοποίησε το ιδανικό ΒΣ

Αν BMI < 16 kg/m², χρησιμοποίησε το υπάρχον ΒΣ για τις πρώτες 7–10 ημέρες,

Μετά χρησιμοποίησε το ιδανικό ΒΣ

Harris-Benedict

Άντρες: 66,4730 + (13,7516 x βάρος) + (5,0033 x ύψος) – (6,7550 x ηλικία)

Γυναίκες: 655,0955 + (9,5634 x βάρος) + (1,8496 x ύψος) – (4,6756 x ηλικία)

Ireton-Jones 1992

1925 – (10 x ηλικία) + (5 x βάρος) + (281 αν άρρεν) + (292 αν υπάρχει τραύμα)

+ (851 αν υπάρχουν εγκαύματα)

Ireton-Jones 1997

(5 x βάρος) – (11 x ηλικία) + (244 αν άρρεν) + (239 αν υπάρχει τραύμα)

+ (840 αν υπάρχουν εγκαύματα) + 1784

Penn State 1998

(1,1 x τιμή από εξίσωση Harris-Benedict) + (140 x T_{max}) + (32 x V_E) – 5340

Penn State 2003

(0,85 x τιμή από εξίσωση Harris-Benedict) + (175 x T_{max}) + (33 x V_E) – 6433

Swinamer 1990

(945 x επιφάνεια σώματος) – (6,4 x ηλικία) + (108 x θερμοκρασία)

+ (24,2 x αναπνευστική συχνότητα) + (817 x V_T) – 4349

ΒΣ: Βάρος σώματος, BMI: Δείκτης μάζας σώματος (body mass index), V_E: Κατά λεπτόν αερισμός (σε L/min), V_T: Αναπνεύμενος όγκος (σε L), Βάρος σε kg, Ύψος σε cm, Ηλικία σε χρόνια, Επιφάνεια σώματος σε m², Μέγιστη θερμοκρασία σώματος τις τελευταίες 24 ώρες (T_{max}) (σε °C), Αναπνευστική συχνότητα σε αναπνοές/min.

Πίνακας 2. Εξισώσεις πρόβλεψης για τις ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας (REE) (kcal/d)³⁸.

A Έμμεση θερμιδομετρία

Η έμμεση θερμιδομετρία (ΕΘ) αποτελεί το χρυσό πρότυπο (gold standard) για τον υπολογισμό των μεταβολικών αναγκών. Ως γνωστόν, σε κυτταρικό επίπεδο με την κατανάλωση O₂ και υποστρωμάτων καύσης (γλυκόζη,

ελεύθερα λιπαρά οξέα και αμινοξέα) παράγονται ως υποπροϊόντα του μεταβολισμού τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και ύδωρ. Καθώς η ενέργεια που παράγεται ισούται με την ενέργεια που

καταναλώνεται, η ΕΘ, η οποία μετράει το VO_2 και το VCO_2 , αντιπροσωπεύει τον μεταβολισμό της ενέργειας σε αληθινό χρόνο³.

Από τις τιμές VO_2 και VCO_2 υπολογίζουμε τις ΕΑ με σκοπό τον καθορισμό των απαιτούμενων ημερήσιων θερμίδων. Αυτό γίνεται από την γνωστή εξίσωση του Weir:

$$EA \text{ (σε kcal/ημέρα)} = (3,9 \times VO_2) + (1,1 \times VCO_2) - 2,7 \times \text{άζωτο ούρων}$$

Δεδομένου ότι το άζωτο ούτε παράγεται ούτε χρησιμοποιείται κατά την αναπνοή, παραλείπεται στην παραπάνω εξίσωση. Με αυτή την παραδοχή προκύπτει η τροποποιημέ-νη εξίσωση Weir:

$$REE \text{ (σε kcal/ημέρα)} = 1,44 \times [(3,94 \times VO_2) + (1,11 \times VCO_2)] \text{ (} VO_2, VCO_2 \text{ σε mL/min),}$$

η οποία εισάγει μόνο ένα μικρό σφάλμα, μέχρι 1-2%, στον τελικό υπολογισμό των REE.

Επιπρόσθετα, με την ΕΘ υπολογίζουμε και το αναπνευστικό πηλίκο (R/Q):

$$(R/Q = VCO_2/VO_2),$$

το οποίο δείχνει ποια μακρο-θρεπτικά συστατικά μεταβολίζονται. Αποτελεί ποιοτικό δείκτη επάρκειας της διατροφικής υποστή-ριξης.

Οι ενδείξεις της ΕΘ περιλαμβάνουν τις κλινικές καταστάσεις που τροποποιούν σημα-ντικές REE, την αποτυχία της διατροφικής υποστήριξης που βασίζεται στις εξισώσεις να διατηρήσει ή να αποκαταστήσει το σωματικό βάρος του ασθενούς και την οξεία βαριά νόσο που σχετίζεται με σημαντικές αλλαγές σε επίπεδο μεταβολικού στρες. Στη βιβλιογραφία φαίνεται ότι συμβάλλει στον καθορισμό της

ιδανικής διατροφικής θεραπείας και στην παρακολούθηση των αποτελεσμάτων των διατροφικών παρεμβάσεων μας^{1,13,14}. Η χορήγηση του 80% των υπολογιζόμενων με την ΕΘ μεταβολικών αναγκών έχει συσχετιστεί με μειωμένη θνητότητα 60 ημερών¹⁵. Επίσης, δύο πρόσφατες μετα-αναλύσεις^{16,17} έδειξαν ότι η ΕΘ μειώνει σημαντικά την βραχυπρόθεσμη θνητότητα σε σύγκριση με τις εξισώσεις πρό-βλεψης. Οι κατευθυντήριες οδηγίες^{1,11}, πάντως, προτείνουν τη χρήση της έμμεση θερμιδομετρία (ΕΘ) για τον υπολογισμό των μεταβολικών αναγκών του βαρέως πάσχοντα ασθενή μία φορά την εβδομάδα, αν η διάρκεια παραμονής στη ΜΕΘ είναι λιγότερο από 5 ημέρες, και 2-3 φορές την εβδομάδα, αν η διάρκεια παραμονής στη ΜΕΘ είναι περισσότερο από 5 ημέρες.

Κατά την χρήση της στην κλινική πράξη η μέθοδος έχει διάφορους περιορισμούς, προκειμένου να γίνει σωστά η εκτίμηση των REE. Στον πίνακα 3 φαίνονται όλοι εκείνοι οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τις μετρήσεις της ΕΘ. Είναι φανερό ότι η εφαρμογή της επηρεάζεται από την κλινική κατάσταση του ασθενούς. Γενικά, όσο πιο σταθερή είναι η κλινική κατάσταση του ασθενούς, τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα από την ΕΘ και, όταν αλλάζει η κατάσταση του ασθενούς, η ΕΘ πρέπει να επαναλαμβάνεται. Αυτές αποτελούν και τις δύο βασικές αρχές της κατά την εφαρμογή της στην καθημερινή κλινική πρακτική.

Παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις της ΕΘ

- Διέγερση
- Πυρετός
- Καταστολή
- Αιμοδυναμική αστάθεια - τιτλοποίηση αγγειοσυσπαστικών φαρμάκων στη διάρκεια της μέτρησης
- Διαρροή αέρα στο αναπνευστικό κύκλωμα
- Συνεχής φλεβο-φλεβική αιμοδιαδιήθηση
- ECMO (Extracorporeal membrane oxygenation): Εξωσωματική οξυγόνωση δια μεμβράνης
- Μηχανικός αερισμός με Θετική τελοεκπνευστική πίεση (Positive end-expiratory pressure-PEEP) > 10 cmH₂O
- Μηχανικός αερισμός με FiO₂ > 80%
- Μη επεμβατικός μηχανικός αερισμός
- Συμπληρωματικό οξυγόνο σε ασθενείς σε αυτόματη αναπνοή

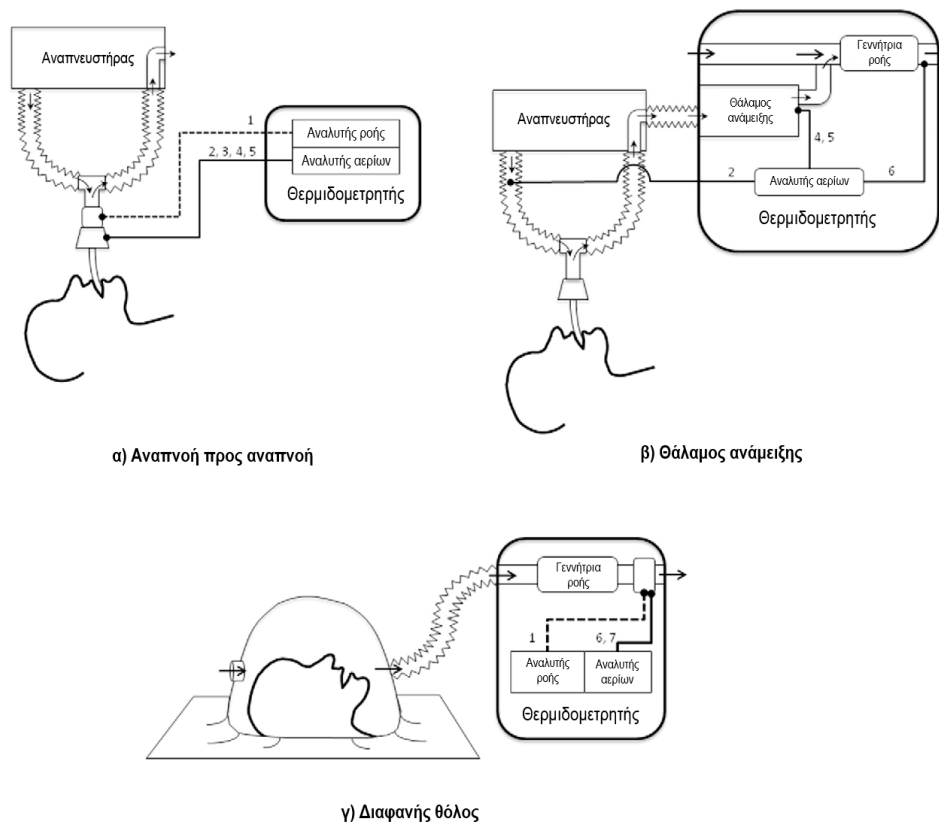
Πίνακας 3. Παράγοντες που περιορίζουν την αξιοπιστία και τη σκοπιμότητα των μετρήσεων της έμμεσης θερμιδομετρίας (ΕΘ)³.

Στα μηχανήματα ΕΘ η λήψη του δείγματος αερίων γίνεται από το κύκλωμα που συνδέει τον ενδοτραχειακό σωλήνα με τον αναπνευστήρα (Εικόνα 1α,β), ενώ στους ασθενείς σε αυτόματη αναπνοή γίνεται με τη χρήση διαφανούς θόλου (canopy mode) ή μάσκας προσώπου (Εικόνα 1γ), αναλύοντας τον εισπνεόμενο και εκπνεόμενο αέρα.

Σε μηχανικά αεριζόμενους ασθενείς η μέτρηση VO₂/VCO₂ γίνεται είτε με την ανάλυση αναπνοής προς αναπνοή (Εικόνα 1α) είτε με αναλύσεις από το θάλαμο ανάμιξης (Εικόνα 1β)¹⁸.

Το deltatrac¹⁹ ήταν επί χρόνια το πιο επικυρωμένο μεταβολικό σύστημα παρακολούθησης και θεωρούνταν το gold standard της ΕΘ, με το οποίο συγκρίνονταν όλα τα υπόλοιπα μηχανήματα. Εδώ και μια δεκαετία δεν υποστηρίζεται

από τον κατασκευαστή και έχει αποσυρθεί από την κυκλοφορία¹⁴. Τη δεκαετία 2010-2020 κυκλοφόρησαν στην αγορά νέες συσκευές (Quark RMR, Vmax Encore, E-COVX, CCM Express)²⁰⁻²⁴, η καθεμιά με τους περιορισμούς της. Συγκρίθηκαν με το deltatrac και κάποιες αποδείχθηκαν ισοδύναμες με αυτό (Quark RMR, Vmax Encore)^{21,22} και άλλες κατώτερες του (Quark RMR, E-COVX, CCM Express) στον υπολογισμό των REE, VO₂, VCO₂ και RQ^{22,23,25}. Με βάση όλες αυτές τις συγκριτικές μελέτες αναγνωρίστηκαν τα μειονεκτήματα όλων των παραπάνω συσκευών, όπως το μεγάλο μέγεθος και βάρος, η ανάγκη συνεχούς βαθμονόμησης και οι περιορισμοί του FiO₂, ενώ συγχρόνως καθορίστηκαν τα χαρακτηριστικά του ιδανικού μηχανήματος ΕΘ¹⁸.



Εικόνα 1. Σχηματική παρουσίαση της έμμεσης θερμιδομετρίας που χρησιμοποιείται σε ασθενείς με μηχανικό αερισμό ή αυτόματη αναπνοή. α) Αναπνοή προς αναπνοή β) Θάλαμος ανάμειξης γ) Διαφανής θόλος¹⁸.

Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, το ιδανικό μηχάνημα πρέπει να είναι ακριβές, εύκολο στην χρήση (ελαφρύ, εύκολο λογισμικό, αυτόνομη βαθμονόμηση), γρήγορο (μέτρηση EA < 10 λεπτά), με μεγάλη αυτονομία (μέχρι 10 μετρήσεις για 4 συνεχόμενες ώρες), να απολυμαίνεται εύκολα, να έχει εξαρτήματα μιας χρήσης, να είναι συμβατό με τις νοσοκομειακές συσκευές και να έχει διαθεσιμότητα. Έτσι, η διεθνής πολυκεντρική ομάδα μελέτης για την έμμεση θερμιδομετρία (International multicentric study group for indirect calorimetry, ICALIC) με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής εταιρείας

εντατικής θεραπείας (European society of intensive care medicine, ESICM) και της Ευρωπαϊκής εταιρείας κλινικής διατροφής και μεταβολισμού (European society for clinical nutrition and metabolism, ESPEN) ανέπτυξαν μια καινοτόμο συσκευή που φαίνεται να καλύπτει τις κλινικές ανάγκες των γιατρών, το QNRG²⁶. Το QNRG διαθέτει εκείνα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την μέτρηση REE τόσο σε μηχανικά αεριζόμενους ασθενείς, όσο και σε ασθενείς σε αυτόματη αναπνοή. Το συγκεκριμένο μηχάνημα συγκρίθηκε με το gold standard την φασματομετρία μάζας in vitro²⁶.

Και τα δύο μηχανήματα είναι εξοπλισμένα με θάλαμο ανάμιξης. Στη σύγκριση των δύο μεθόδων, σε μηχανικά αεριζόμενους ασθενείς, η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ τους στις μετρήσεις ανταλλαγής αερίων σε διαφορετικά επίπεδα FiO_2 ήταν εντός των προκαθορισμένων ορίων ακρίβειας, κάτω του 5%, σε όλα τα προσομοιωμένα επίπεδα ανταλλαγής και σε FiO_2 21-70%²⁶. Επίσης, το νέο μηχάνημα συγκρίθηκε με την φασματομετρία μάζας σε canopy mode (Εικόνα 3), in vitro και σε 15 ασθενείς σε αυτόματα αναπνοή²⁷. Οι δύο μέθοδοι είχαν ελάχιστες διαφορές και πολύ χαμηλή μεταβλητότητα μεταξύ τους, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο την πλεονεκτική θέση του νέου μηχανήματος. Τέλος, στην μελέτη ICALIC μια πολυκεντρική, προοπτική, μη τυφλή μελέτη παρατήρησης, συγκρίθηκαν το QNRG με τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα μηχανήματα ΕΘ²⁶. Πρωταρχικό καταληκτικό σημείο της μελέτης ήταν ο χρόνος που απαιτείται για την λήψη των αποτελεσμάτων των REE. Υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα και φάνηκε ότι χρειάζεται πολύ λιγότερος χρόνος (μόλις 10 λεπτά) για τον υπολογισμό των ΕΑ με το QNRG σε σύγκριση με τις υπόλοιπες συσκευές σε διαφορετικές, μάλιστα, χώρες και σε διαφορετικές ΜΕΘ. Δευτερογενές καταληκτικό σημείο της μελέτης ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρούμενων ΕΑ αυτών καθεαυτών²⁶. Οι μετρήσεις των ΕΑ με το QNRG σε άλλα κέντρα ήταν συγκρίσιμες, ενώ σε άλλα υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Οι τελευταίες

πιθανά οφείλονταν σε παράγοντες των ασθενών, στη χρήση διαφορετικών αναπνευστήρων και στις διαφορετικές ρυθμίσεις αυτών. Ωστόσο, σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν η αξιολόγηση της πρακτικότητας της συσκευής και όχι της επίδρασης των διαφόρων παραγόντων στις ΕΑ που υπολογίζονταν με το QNRG σε σύγκριση με τα άλλα μηχανήματα. Συνεπώς, με τα μέχρι σήμερα δεδομένα φαίνεται ότι το QNRG είναι ανώτερο όλων των συσκευών, ίσως ισότιμο με το ECOVX¹⁴. Σημαντικά πλεονεκτήματα του QNRG²⁸ αποτελούν ο μικρός χρόνος λήψης των αποτελεσμάτων (10-15 λεπτά), ο ελάχιστος χρόνος βαθμονόμησης και η αυτόνομη βαθμονόμηση, το μικρό βάρος και η εύκολη μεταφορά, η ακρίβειά του συγκρινόμενο με την φασματομετρία μάζας, η χρήση του και σε αυτόματα και σε μηχανική αναπνοή, σε $FiO_2 \leq 70\%$ και θετική τελοεκπνευστική πίεση (positive end-expiratory pressure, PEEP) < 16 cmH₂O, επίπεδα σαφώς υψηλότερα συγκρινόμενα με τα παλαιότερης τεχνολογίας μηχανήματα.

B. Εκτιμώμενες ενεργειακές ανάγκες ηρεμίας μέσω VCO₂

Η μέθοδος υπολογισμού των ΕΑ με την μέτρηση του VCO₂ (EE-VCO₂) από τον αναπνευστήρα ή από τον καθετήρα πνευμονικής αρτηρίας (swan ganz) έχει προταθεί ως υποκατάστατο της ΕΘ. Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται πάντα μια σταθερή τιμή RQ = 0.86. Η παραδοχή αυτή στον υπολογισμό του RQ γίνεται με βάση τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα

διατροφικά σκευάσματα στην ΜΕΘ²⁹. Στη συνέχεια, από την εξίσωση του RQ:

$RQ = VCO_2/VO_2$, όπου $RQ = 0,86$, υπολογίζεται το $VO_2:VO_2 = VCO_2/0,86$

Τέλος, από την γνωστή μας τροποποιημένη εξίσωση Weir:

$REE = 1,44 X [(3,94 x VO_2)] + (1,11 x VCO_2)]$
υπολογίζονται οι ΕΑ βασιζόμενες στο VCO_2 :

$EE-VCO_2$ (σε kcal/ημέρα) = $8,19 x VCO_2$
(mL/min)

Η χρήση βέβαια ενός σταθερού RQ μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβείς μετρήσεις, λόγω ενδεχόμενης χρήσης διαφορετικών θρεπτικών υποστρωμάτων. Στη βιβλιογραφία προτάθηκε η αντικατάστασή του από το διατροφικό πηλίκο (food quotient, FQ). Το FQ υπολογίζεται από το εκτιμώμενο RQ που προκύπτει από την οξείδωση υποστρωμάτων διαφορετικής ενέργειας από διατροφικές ή μη πηγές θερμίδων. Το RQ είναι 1, 0,7 και 0,8 για υδατάνθρακες, λίπη και πρωτεΐνες αντίστοιχα, δίνοντας τη δυνατότητα υπολογισμού ενός μεμονωμένου FQ με βάση τη σύνθεση των χορηγούμενων πηγών ενέργειας (διατροφικών και μη διατροφικών):

$FQ = [λίπος (\%) x 0,7] + [πρωτεΐνη (\%) x 0,8] + [υδατάνθρακες (\%) x 1]$.

Η χρήση του FQ βέβαια μπορεί να είναι αναξιόπιστη σε καταβολικούς ασθενείς, διότι η χρήση ενδογενούς υποστρώματος δεν μπορεί να εκτιμηθεί με την πρόσληψη¹⁴.

Την τελευταία επταετία η μέθοδος EE-VCO₂ έχει αξιολογηθεί σε διάφορες μελέτες είτε προοπτικές είτε αναδρομικές²⁹⁻³³. Στις παραπάνω

μελέτες έχει συγκριθεί με το gold standard, την ΕΘ, ή και με τις εξισώσεις πρόβλεψης²⁹⁻³³. Έχουν αναγνωριστεί διάφοροι μεθοδολογικοί περιορισμοί, όπως στο σχεδιασμό, τη χρήση διαφορετικών αναπνευστήρων, τις διαφορετικές ρυθμίσεις του αναπνευστήρα, τα διαφορετικά μηχανήματα έμμεσης θερμοδομετρίας και τις διαφορές στην συνταγογραφούμενη διατροφή. Ωστόσο, όλες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο υπολογισμός των ΕΑ μέσω του EE-VCO₂ είναι μεν πιο αξιόπιστος από τις εξισώσεις πρόβλεψης, αλλά σε σχέση με την ΕΘ υπάρχει το ενδεχόμενο η μέθοδος να υπερεκτιμά τις ΕΑ. Έτσι, σε καμιά περίπτωση δεν αντικαθιστά την ΕΘ. Γι' αυτό, και οι κατευθυντήριες γραμμές¹ προτείνουν τη χρήση της μεθόδου μόνο σε απουσία της ΕΘ, δεδομένου ότι παρέχουν καλύτερη εκτίμηση των ΕΑ σε σύγκριση με τις εξισώσεις πρόβλεψης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Ο σωστός χρόνος και η βέλτιστη δοσολογία της διατροφικής θεραπείας αποτελούν πλέον το νέο πρότυπο φροντίδας του βαρέως πάσχοντα ασθενή στη ΜΕΘ. Η ΕΘ εξακολουθεί να αποτελεί το gold standard για τον υπολογισμό των ΕΑ, όπως τονίζεται και στον προτεινόμενο από τη βιβλιογραφία αλγόριθμο για την εφαρμογή εξατομικευμένης διατροφικής θεραπείας στον ασθενή της ΜΕΘ¹³. Στην ιστορία της ΕΘ³⁴ φαίνεται ότι με το QNRG προσεγγίζουμε το ιδανικό μηχανήμα, αφού με τα μέχρι τώρα δεδομένα το τελευταίο υπολογίζει τις ΕΑ στον βαρέως

πάσχοντα ασθενή με ακρίβεια και ευκολία²⁶, ώστε να χορηγούμε τη σωστή διατροφή, στο σωστό ασθενή, τη σωστή ώρα. Αυτοί οι κανόνες διατροφικής θεραπείας, εξάλλου, συγκαταλέγονται σήμερα στη δέσμη μέτρων που προτείνονται και για την βελτίωση της ποιότητας ζωής μετά την έξοδο από τη ΜΕΘ³⁵⁻³⁷.

Additional materials: No

Acknowledgements:

Not applicable

Authors' contributions: SV drafted the paper and is the lead author, STh contributed to planning and the critical revision of the paper. **Funding:** Not applicable.

Availability of supporting data: The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Ethical approval and consent to participate:

No IRB approval required.

Competing interests: The authors declare that they have no competing interests.

Received: May 2023, Accepted: May 2023,

Published: June 2023.

REFERENCES

1. Singer P, Blaser AR, Berger MM, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr.* 2019;38(1):48-79.
2. Ndahimana D, Kim EK. Energy Requirements in Critically Ill Patients. *Clin Nutr Res.* 2018;7(2):81-90.
3. Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, et al. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. *J Clin Med.* 2019;8(9):1387.
4. De Waele E, Jonckheer J, Wischmeyer PE. Indirect calorimetry in critical illness: a new standard of care? *Curr Opin Crit Care.* 2021;27(4):334-343.
5. Fraipont V, Preiser JC. Energy estimation and measurement in critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2013;37(6):705-13.
6. Guttormsen AB, Pichard C. Determining energy requirements in the ICU. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2014;17(2):171-6.
7. Zusman O, Kagan I, Bendavid I, et al. Predictive equations versus measured energy expenditure by indirect calorimetry: A retrospective validation. *Clin Nutr.* 2019;38(3):1206-1210.
8. Smetana KS, Hannawi Y, May CC. Indirect Calorimetry Measurements Compared With Guideline Weight-Based Energy Calculations in Critically Ill Stroke Patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2021;45(7):1484-1490.
9. Graf S, Pichard C, Genton L, et al. Energy expenditure in mechanically ventilated patients: The weight of body weight! *Clin Nutr.* 2017;36(1):224-228.
10. De Waele E, van Zanten ARH. Routine use of indirect calorimetry in critically ill

- patients: pros and cons. *Crit Care*. 2022;26(1):123.
11. McClave SA, Taylor BE, Martindale RG, et al. Guidelines for the Provision and Assessment of Nutrition Support Therapy in the Adult Critically Ill Patient: Society of Critical Care Medicine (SCCM) and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (A.S.P.E.N.). *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2016;40(2):159-211.
 12. Compher C, Bingham AL, McCall M, et al. Guidelines for the provision of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: The American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2022;46(1):12-41.
 13. Van Zanten ARH, De Waele E, Wischmeyer PE. Nutrition therapy and critical illness: practical guidance for the ICU, post-ICU, and long-term convalescence phases. *Crit Care*. 2019;23(1):368.
 14. Moonen HPFX, Beckers KJH, van Zanten ARH. Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. *J Intensive Care*. 2021;9(1):8.
 15. Zusman O, Theilla M, Cohen J, et al. Resting energy expenditure, calorie and protein consumption in critically ill patients: a retrospective cohort study. *Crit Care*. 2016;20(1):367.
 16. Duan JY, Zheng WH, Zhou H, et al. Energy delivery guided by indirect calorimetry in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2021;25(1):88.
 17. Pertzov B, Bar-Yoseph H, Menndel Y, et al. The effect of indirect calorimetry guided isocaloric nutrition on mortality in critically ill patients-a systematic review and meta-analysis. *Eur J Clin Nutr*. 2022;76(1):5-15.
 18. Oshima T, Berger MM, De Waele E, et al. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clin Nutr*. 2017;36(3):651-662.
 19. Tissot S, Delafosse B, Bertrand O, et al. Clinical validation of the Deltatrac monitoring system in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med*. 1995;21(2):149-53.
 20. Sundström M, Tjäder I, Rooyackers O, et al. Indirect calorimetry in mechanically ventilated patients. A systematic comparison of three instruments. *Clin Nutr*. 2013;32(1):118-21.
 21. Cooper JA, Watras AC, O'Brien MJ, et al. Assessing validity and reliability of resting metabolic rate in six gas analysis systems. *J Am Diet Assoc*. 2009;109(1):128-32.

22. Graf S, Karsegard VL, Viatte V, et al. Evaluation of three indirect calorimetry devices in mechanically ventilated patients: which device compares best with the Deltatrac II(®)? A prospective observational study. *Clin Nutr.* 2015;34(1):60-5.
23. Rehal MS, Fiskaare E, Tjäder I, et al. Measuring energy expenditure in the intensive care unit: a comparison of indirect calorimetry by E-sCOVX and Quark RMR with Deltatrac II in mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care.* 2016;20:54.
24. Stapel SN, Weijs PJM, Girbes ARJ, et al. Indirect calorimetry in critically ill mechanically ventilated patients: Comparison of E-sCOVX with the deltatrac. *Clin Nutr.* 2019;38(5):2155-2160.
25. McClave SA, Lowen CC, Kleber MJ, et al. Clinical use of the respiratory quotient obtained from indirect calorimetry. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2003;27(1):21-6.
26. Oshima T, Delsoglio M, Dupertuis YM, et al. The clinical evaluation of the new indirect calorimeter developed by the ICALIC project. *Clin Nutr.* 2020;39(10):3105-3111.
27. Delsoglio M, Dupertuis YM, Oshima T, et al. Evaluation of the accuracy and precision of a new generation indirect calorimeter in canopy dilution mode. *Clin Nutr.* 2020;39(6):1927-1934.
28. Wischmeyer PE, Molinger J, Haines K. Point-Counterpoint: Indirect Calorimetry Is Essential for Optimal Nutrition Therapy in the Intensive Care Unit. *Nutr Clin Pract.* 2021;36(2):275-281.
29. Stapel SN, de Grooth HJ, Alimohamad H, et al. Ventilator-derived carbon dioxide production to assess energy expenditure in critically ill patients: proof of concept. *Crit Care.* 2015;19:370.
30. Kagan I, Zusman O, Bendavid I, et al. Validation of carbon dioxide production (VCO₂) as a tool to calculate resting energy expenditure (REE) in mechanically ventilated critically ill patients: a retrospective observational study. *Crit Care.* 2018;22(1):186.
31. Oshima T, Graf S, Heidegger CP, et al. Can calculation of energy expenditure based on CO₂ measurements replace indirect calorimetry? *Crit Care.* 2017;21(1):13.
32. Rousing ML, Hahn-Pedersen MH, Andreassen S, et al. Energy expenditure in critically ill patients estimated by population-based equations, indirect calorimetry and CO₂-based indirect calorimetry. *Ann Intensive Care.* 2016;6(1):16.
33. Koekkoek WAC, Xiaochen G, van Dijk D, et al. Resting energy expenditure by

- indirect calorimetry versus the ventilator-VCO₂ derived method in critically ill patients: The DREAM-VCO₂ prospective comparative study. *Clin Nutr ESPEN*. 2020;39:137-143.
34. Mtaweh H, Taira L, Floh AA, et al. Indirect Calorimetry: History, Technology, and Application. *Front Pediatr*. 2018;6:257.
35. Pandharipande P, Banerjee A, McGrane S, et al. Liberation and animation for ventilated ICU patients: the ABCDE bundle for the back-end of critical care. *Crit Care*. 2010;14(3):157.
36. Wischmeyer PE. Are we creating survivors or victims in critical care? Delivering targeted nutrition to improve outcomes. *Curr Opin Crit Care*. 2016;22(4):279-84.
37. Wischmeyer PE, San-Millan I. Winning the war against ICU-acquired weakness: new innovations in nutrition and exercise physiology. *Crit Care*. 2015;19 Suppl 3(Suppl 3):S6.
38. Walker RN, Heuberger RA. Predictive equations for energy needs for the critically ill. *Respir Care*. 2009;54(4):509-21.

Publisher's Note

The publisher remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Citation: Soulountsi V, Schizodimos Th. Assessment of metabolic demands in critically ill patients: What's new? *Greek e j Perioper Med*. 2023;22(b): 3-15.