

# La calorimétrie indirecte : un outil précis trop peu utilisé

## Indirect calorimetry: a rarely used specific tool

P. Singer · J. Singer

Reçu le 12 février 2012 ; accepté le 16 avril 2012  
© SRLF et Springer-Verlag France 2012

**Résumé** La calorimétrie indirecte est la méthode de référence pour mesurer la dépense énergétique au repos. En réanimation, le calcul des besoins caloriques est réalisé à l'aide des formules plutôt qu'avec la calorimétrie indirecte. Les formules sont peu précises, mais d'un autre côté, la calorimétrie indirecte présente des limitations techniques et financières. Mal évaluer la demande énergétique d'un patient et ne pas lui administrer la compensation calorique requise peut aboutir à des conséquences délétères. Un déficit énergétique augmente la morbidité, le risque d'infection, la dénutrition et le délai de cicatrisation. Un excès calorique prolonge la ventilation mécanique, augmente les risques d'infection, surtout si la nutrition parentérale est utilisée. C'est pourquoi il est recommandé de réaliser la calorimétrie indirecte quand l'état clinique du patient le permet.

**Mots clés** Calorimétrie indirecte · Dépense énergétique · Calories · Soins intensifs

**Abstract** Indirect calorimetry is recognized as the gold standard in the assessment of energy expenditure in clinical nutrition. In the intensive care setting, only a small proportion of patients are evaluated, using this tool, and most of the practitioners use predictive equations. These equations, however, have a little accuracy and could lead to large mistakes. On the other hand, indirect calorimetry technique has limitations, such as financial aspects, patient's clinical conditions of ventilation and stability, and lack of air leakage. The consequences of mistaking energy requirements have been recently studied in many prospective studies. Underfeeding

seems to lead to increased malnutrition and its deleterious consequences, while overnutrition can induce increased infection rate (catheter-related infections and ventilator associated pneumonia), mainly if parenteral nutrition is used. Therefore, the use of a goal-directed protein-energy target is recommended and indirect calorimetry may be useful in the determination of this goal.

**Keywords** Indirect calorimetry · Resting energy expenditure · Intensive care · Calories

## Introduction

En réanimation, l'usage d'objectifs thérapeutiques chiffrés est habituel pour optimiser la prise en charge des patients. Les exemples les plus courants sont la glycémie, le débit cardiaque ou l'oxygénation. La gestion nutritionnelle du malade grave souffre d'un manque de paramètres d'évaluation précis, puisque l'évaluation nutritionnelle est en grande partie subjective et les paramètres biologiques sont influencés par l'état d'agression du malade, comme le taux d'albumine par exemple. Parmi les outils existants utilisables, la mesure de la dépense énergétique pourrait constituer un paramètre évaluant l'état métabolique du patient. Cette mesure permettrait ainsi de fixer un but thérapeutique [1]. Pourtant, dans une large série récemment publiée, la calorimétrie indirecte (CI) est utilisée chez seulement 0,8 % des patients pour évaluer la dépense énergétique [2]. Ce chapitre évalue les moyens utilisés pour prédire ou mesurer la dépense énergétique d'un patient, décrit les bases thermodynamiques et la technique de la CI ainsi que ses avantages et ses limites et propose les applications potentielles de la CI dans le domaine de la recherche et de l'amélioration des soins du malade grave.

## Prédire ou mesurer la dépense énergétique ?

La somme du métabolisme de base, de la dépense énergétique postprandiale et de la thermogenèse liée à l'activité

---

P. Singer (✉)  
Département de réanimation polyvalente,  
centre hospitalier Rabin, hôpital Beilinson Petah Tikva,  
affilié à l'université de Tel Aviv, Israël  
e-mail : psinger@clalit.org.il

J. Singer  
Institut d'endocrinologie et de diabétologie,  
centre hospitalier Rabin, hôpital Beilinson Petah Tikva,  
affilié à l'université de Tel Aviv, Israël

physique composent la dépense énergétique totale journalière [3]. Dans l'immense majorité des cas, la dépense énergétique est évaluée par une équation prédictive. Le tableau 1 résume 30 des équations les plus utilisées parmi les plus de 200 équations existantes [4]. De l'avis de la plupart des auteurs, les équations prédictives sont inexactes dans plus de 30 % des situations dans les meilleurs cas et peuvent avoir une valeur prédictive encore moindre [5,6]. L'utilisation du poids pour le calcul de la dépense énergétique est une des causes principales de cette imprécision. De nombreuses équations déclinent le poids observé, le poids idéal (taille en cm - 100) ou encore le poids ajusté. De fait, les œdèmes et la rétention hydrique sont fréquents en réanimation et souvent le poids utilisé est le poids rapporté par la famille ou le poids estimé. Frankenfield a comparé la mesure de la dépense énergétique par CI de 202 patients ventilés au calcul obtenu par plusieurs équations telles que la PennState et celles qui sont aux noms de Faisy, Brandi, Swinamer, Ireton-Jones, Mifflin et Harris-Benedict (Tableau 1) [4]. L'équation la plus précise (67 %) était l'équation de la « Penn State University ». La très célèbre équation élaborée par Harris et Benedict, vieille de près de 100 ans et évaluée pour des sujets normaux, était paradoxalement très utilisée en réanimation et n'était pas très précise [7]. L'utilisation de facteurs d'agression est également très fréquente, mais sur- ou sous-estime dans plus de 40 % des cas la valeur de la dépense énergétique [8]. De plus, un patient septique peut présenter des variations importantes de sa dépense énergétique [9]. Seule la mesure de la dépense énergétique journalière ou quasi journalière par CI peut dépister ces changements à travers le temps. D'autres variations liées à la fièvre, la sédation, la paralysie, les frissons, l'apport calorique ou la malnutrition influencent la dépense énergétique [10]. Néanmoins, les équations restent très populaires et sont utilisées dans la plupart des situations cliniques ainsi que dans les études expérimentales.

## Précision de la mesure

La CI est la méthode de référence pour mesurer la dépense énergétique et sa précision peut atteindre 96 % dans la mesure de la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ) et la production de gaz carbonique ( $VCO_2$ ) [11]. Les moniteurs métaboliques disponibles sont transportables et permettent aux cliniciens d'estimer, avec grande précision, les demandes énergétiques requises par le patient [12]. Il est clair qu'un patient victime d'un dommage cérébral sévère peut présenter un métabolisme de base diminué alors que le patient souffrant de sepsis atteindra parfois les 3400 kcal par jour [9].

Les principes de base de la CI dérivent du principe affirmant que le corps humain brûle les nutriments en utilisant de l' $O_2$  et en produisant du  $CO_2$ . Le métabolisme de base est

**Tableau 1** Équations pour prédire la dépense énergétique

### Harris and Benedict, 1919 (HB1919) [19]

Homme :  $Pds * 13,7516 + T (cm) * 5,0033 - A * 6,755 + 66,473$

Femme :  $Pds * 9,5634 + T (cm) * 1,8496 - A * 4,6756 + 655,0955$

### HB ajustée sur le poids idéal pour l'obèse [18,19]

Homme : Poids idéal =  $(T (cm) - 152) * 1,06 + 48$

Femme : Poids idéal =  $(T (cm) - 152) * 0,89 + 45,4$

→ HB ajusté à 25 % :  $Pds (HB) = Poids idéal + (Pds - Poids idéal) * 0,25$

→ HB ajusté à 50 % :  $Pds (HB) = Poids idéal + (Pds - Poids idéal) * 0,50$

### Roza and Shizgal, 1984 (HB1984) [20]

Homme :  $Pds * 13,397 + T (cm) * 4,799 - A * 5,677 + 88,362$

Femme :  $Pds * 9,247 + T (cm) * 3,098 - A * 4,33 + 477,593$

### Owen (1986, 1987) [21,22]

Homme :  $Pds * 10,2 + 879$

Femme :  $Pds * 7,18 + 795$

### Mifflin (1990) [23]

$Pds * 9,99 + T (cm) * 6,25 - A * 4,92 + S$   
(femme : 0 ; homme : 1) \* 166 - 161

### FAO/WHO/UNU fondée sur le poids [24]

Homme, 18-30 ans :  $Pds * 15,3 + 679$

Homme, 30-60 ans :  $Pds * 11,6 + 879$

Homme, > 60 ans :  $Pds * 13,5 + 487$

Femme, 18-30 ans :  $Pds * 14,7 + 496$

Femme, 30-60 ans :  $Pds * 8,7 + 829$

Femme, > 60 ans :  $Pds * 10,5 + 596$

### FAO/WHO/UNU fondée sur le poids et la taille [24]

Homme, 18-30 ans :  $Pds * 0,063 - T (m) * 0,042 + 2,953$

Homme, 30-60 ans :  $Pds * 0,048 - T (m) * 0,011 + 3,67$

Homme, > 60 ans :  $Pds * 0,038 + T (m) * 4,068 - 3,491$

Femme, 18-30 ans :  $Pds * 0,057 + T (m) * 1,148 + 0,411$

Femme, 30-60 ans :  $Pds * 0,034 + T (m) * 0,006 + 3,53$

Femme, > 60 ans :  $Pds * 0,033 + T (m) * 1,917 + 0,074$

ACCP25 [2]  $Pds * 25$

ACCP30 [2]  $Pds * 30$

ACCP35 [2]  $Pds * 35$

### Penn State University (PSU) fondée sur Harris-Benedict [12]

HB1919 \* 0,85 +  $\Theta * 175 + VM * 33 - 6344$

### PSU basée su Mifflin [12]

Mifflin \* 0,96 +  $\Theta * 167 + VM * 31 - 6212$

### PSU pour l'obèse âgé [12]

Mifflin \* 0,71 +  $\Theta * 85 + VM * 64 - 3085$

### Faisy [24]

$Pds * 8 + T (cm) * 14 + VM * 32 + \Theta * 94 - 4834$

Abréviations: A : âge, HB : Harris-Benedict, Pds : poids, S : sexe, T : taille, VM : ventilation minute,  $\Theta$  : température

calculé à partir de la mesure de la  $VO_2$  et de la  $VCO_2$  ainsi que de la production d'azote (Tableau 2). La précision et l'exactitude de la CI ont été évaluées [13]. Certains des moniteurs métaboliques permettent des mesures avec un taux de variation de moins de 1 %, une exactitude (*accuracy*) de près de 3 % pour les mesures de  $VO_2$ , de  $VCO_2$  et du métabolisme de base. Ils sont par ailleurs dotés d'une haute précision. La qualité de ces résultats permet une utilisation large de la CI. Néanmoins, plusieurs facteurs peuvent empêcher une mesure exacte. Des erreurs minimales dans la mesure du volume courant peuvent induire des erreurs significatives de calcul et cela explique la volonté des utilisateurs de la CI d'éviter toute fuite d'air, surtout quand la pression dans les voies aériennes est élevée. De plus, des taux élevés de  $FIO_2$  (supérieurs à 0,6) rendent la mesure inexacte [14]. La valeur du quotient respiratoire  $VCO_2/VO_2$  (RQ) peut servir de test de contrôle de qualité [13]. Si le RQ est en dehors des valeurs de 0,65 à 1,15, la mesure devrait être mise en doute. Le tableau suivant rappelle les précautions à prendre pour assurer une mesure de qualité (Tableau 3).

<b>Tableau 2</b> Calculs de la dépense énergétique de repos et de l'utilisation périphérique des substrats
DER = $3,91 VO_2 + 1,1 VCO_2 - 3,34 NM$
Métabolisme des hydrates de carbone = 4,45 $VCO_2 - 3,21 VO_2 - 2,87 NM$
Métabolisme des lipides = $1,67 VO_2 - 1,67 VCO_2 - 1,92 NM$
<i>Abréviations</i> : DER : dépense énergétique de repos, NM : mesure d'azote (g/L), $VO_2$ : consommation en oxygène (mL/min), $VCO_2$ : production de $CO_2$ (mL/min)

<b>Tableau 3</b> Les dix principes de mesure exacte du métabolisme énergétique. PEEP : pression expiratoire positive
Connecter le calorimètre au moins 30 minutes au courant avant la mesure
Calibrer
Rechercher les déconnexions mineures, les drainages thoraciques et les fuites d'air
Ne pas mesurer si $FIO_2 > 0,6$
Ne pas mesurer en cas d'instabilité respiratoire ou de variation de la $FIO_2$
Ne pas mesurer en cas d'administration d'oxyde nitrique
Pas de modification des paramètres ventilatoires une heure avant la mesure par calorimétrie
Ne mesurer qu'en cas de stabilité hémodynamique et sans épuration extrarénale
Ne pas mesurer en cas de variations importantes de température
Éviter les mesures en cas d'application de PEEP > 15 cm d' $H_2O$

La durée de mesure requise pour obtenir l'évaluation la plus exacte varie selon les auteurs. Smyrnios et al. [15] ont comparé 341 résultats obtenus au bout de 30 minutes de mesure à ceux obtenus pendant 24 heures de mesure continue. La différence était de  $0 \pm 209$  kcal/jour (de - 1068 à + 585 kcal/d). Les mesures effectuées pendant 30 minutes n'avaient qu'un taux d'erreur de 20 % comparé aux mesures effectuées en continu pendant 24 heures (erreur dans 90 % des cas). Il apparaît en conséquence qu'une durée de 30 minutes de mesure en période stable est satisfaisante. Cunningham et al. ont trouvé une différence de la mesure de la dépense énergétique de moins de 5 % chez 42 des 47 patients étudiés et de plus de 10 % seulement chez deux patients [16]. Les auteurs ont conclu que 5 minutes étaient suffisantes en cas de conditions très stables. En cas d'instabilité, des mesures plus longues sont requises. Ces résultats ont été confirmés par d'autres. McClave et al. ont comparé des mesures très courtes à des mesures de dépense énergétique de 24 heures [17]. Le coefficient de variation était très utile pour déterminer la durée de la mesure.

La précision de la mesure est indispensable. De nombreuses études ont été réalisées, comparant différents types de moniteurs au standard de référence, le moniteur métabolique DeltaTrac II (Datex-Ohmeda, General Electric, Finland) [18]. Récemment, ce dernier a été comparé à deux nouveaux moniteurs : CCM Express (Medgraphics, États-Unis) et Quarck (Compac, Parma, Italie), démontrant des faiblesses dans la précision et l'acuité de la mesure des nouveaux prototypes. Un autre module a été proposé pour mesurer continuellement la dépense énergétique des malades ventilés et les résultats ont été comparés à un moniteur de référence [19]. Le coefficient de variation entre les différents moniteurs, était important et augmentait quand la  $FiO_2$  était augmentée, essentiellement pour la  $VO_2$ .

Il existe une large variation journalière de la dépense énergétique [20]. Chez 60 patients ventilés étudiés de deux à sept jours, la variation journalière était significative ( $p < 0,001$ ) et influencée par la température, mais pas par les scores de sévérité. L'erreur pouvait atteindre jusqu'à 35 %. En conséquence, une mesure journalière ou tous les deux jours est souhaitable si on veut évaluer la balance énergétique avec précision.

## Utilisation clinique de la CI

La CI a été utilisée dans de nombreuses situations pour évaluer la dépense énergétique des patients. Néanmoins, la CI n'est que peu utilisée dans la pratique journalière. Dans une étude organisée dans le cadre de Nutrition Day, nous observons que la prescription nutritionnelle d'énergie se faisait sans rapport avec la pathologie ou l'index de masse corporelle [21]. Heyland et al. rapportaient seulement 0,8 %

d'utilisateurs de la CI dans une étude qui donnait un avantage écrasant aux équations prédictives malgré leur faible précision [2]. Le coût de l'appareillage, de son fonctionnement, ainsi que ses limitations en cas de ventilation à concentration élevée en oxygène, en cas de fuite d'air par un drainage thoracique ou en cas de circulation extracorporelle qui peut faire fuir du CO<sub>2</sub> hors du circuit, dissuadent de nombreux utilisateurs. Néanmoins, ces dernières années ont connu une résurgence de la CI. Tout d'abord, cette méthode est devenue la méthode de référence avec une précision incontestée pour évaluer la dépense énergétique au repos du malade critique en réanimation. Par ailleurs, son usage pour déterminer la prescription calorique du patient est non seulement logique mais acquiert un substrat scientifique. Il est clair qu'aucun outil de monitoring ne réussira à démontrer son efficacité clinique. Néanmoins, plusieurs études observationnelles utilisant la CI ont démontré l'importance de la balance énergétique et son lien avec la morbidité du malade critique ainsi qu'une meilleure survie quand la prescription énergétique était guidée par la mesure de la dépense énergétique [22–24]. Stark et al. ont démontré que les patients recevant un apport énergétique se rapprochant de la mesure de CI ainsi qu'une quantité de protéines proche des recommandations vivaient plus longtemps que ceux avec un déficit énergétique [1]. Notre équipe a démontré que si le patient était nourri avec un objectif calorique proche de sa dépense énergétique mesurée, sa survie était meilleure qu'avec le traitement standard [25]. Les paramètres de morbidité restaient néanmoins plus perturbés dans le groupe recevant un support nutritionnel proche de la mesure. Enfin, l'équipe de Genève-Lausanne confirmait ces résultats en prescrivant un apport énergétique proche de la dépense énergétique mesurée au 3<sup>e</sup> jour après l'admission et observait une réduction significative des infections nosocomiales [26].

Considérer le déficit énergétique devient une partie indispensable de l'évaluation du patient agressé pour éviter les excès comme le déficit énergétique excessif [27]. Les recommandations émanant de l'ESPEN et de l'ASPEN préconisent une mesure de la dépense énergétique quand cela est possible pour prescrire un support nutritionnel qui couvrira les besoins du patient [28,29]. Berger et al. ainsi que notre équipe ont démontré que l'utilisation de systèmes informatiques au lit du malade permettait une évaluation plus aisée de cette balance énergétique et détectait les apports caloriques non nutritionnels comme le propofol, les solutions cristalloïdes enrichies en dextrose ou les amidons [22,30]. Un intérêt supplémentaire est l'évaluation précise des apports protidiques qui s'avèrent très fréquemment insuffisants, en raison d'une prescription mal adaptée et de produits de nutrition disponibles contenant un apport protidique insuffisant.

Enfin, la mesure de la VO<sub>2</sub> et de la VCO<sub>2</sub> accompagnée d'une mesure précise de l'excrétion d'azote permet, par le calcul, l'évaluation de l'utilisation périphérique des hydrates

de carbone, lipides et protéines dans l'organisme [31]. Sans la mesure de l'azote urinaire, l'erreur d'évaluation devient inacceptable. Ces mesures sont utiles dans le domaine de la recherche comme au niveau clinique, pour évaluer la quantité de lipides et d'hydrates de carbone utilisés en relation avec celle administrée [32]. Les nouveaux substrats peuvent ainsi être évalués [33,34].

L'apport calorique idéal est un sujet de débat qui dépasse la quantité de calories à prescrire. De plus, les débats concernant la complémentarité nutrition entérale-nutrition parentérale et le bon délai de mise en route de la nutrition artificielle, ne sont pas clos. De ce fait, de nombreuses études mélangent les concepts, dans des conditions d'analyses imparfaites puisque l'apport protéique n'est pas optimisé. À ce jour, une recommandation claire est difficile à établir, mais la couverture des besoins semble une recommandation raisonnable. Il est indiscutable que la CI est l'outil le plus précis pour évaluer la demande énergétique et est, sans aucun doute, préférable à l'utilisation d'équations. C'est le premier pas vers une thérapie nutritionnelle dirigée [35].

**Conflit d'intérêt :** les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

## Références

1. Starck von Schijndel RJ, Weijs PJ, Koopmans RH, et al (2009) Optimal nutrition during the period of mechanical ventilation decreases mortality in critically ill, long term female patients: a prospective observational cohort study. *Crit Care* 13:R132
2. Heyland DK, Cahill N, Day AG (2011) Optimal amount of calories for critically ill patients: depends on how you slice the cake! *Crit Care Med* 39:2619–26
3. Frankenfield DC, Ashcraft CM (2011) Estimating energy needs in nutrition support patients. *J Parenter Enteral Nutrition* 35:563–70
4. Frankenfield DC, Coleman A, Alam S, Cooney RN (2009) Analysis of estimation methods for resting metabolic rate in critically ill adults. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 33:27–36
5. Walker RN, Heuberger RA (2009) Predictive equations for energy needs for the critically ill. *Resp Care* 54:509–21
6. Reid CL (2007) Poor agreement between continuous measurements of energy expenditure and routinely used prediction equations in intensive care unit patients. *Clin Nutr* 26:649–57
7. Harris JA, Benedict FG (1918) A biometric study of human basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci U S A* 4:370–3
8. Boullata J, Williams J, Hudson L, Compher C (2007) Accurate determination of energy needs in hospitalized patients. *J Am Diet Assoc* 107:393–401
9. Kreymann G, Grosser S, Buggisch P, et al (1993) Oxygen consumption and resting metabolic rate in sepsis, sepsis syndrome and septic shock. *Crit Care Med* 21:1012–9
10. Lev S, Cohen J, Singer P (2010) Indirect calorimetry measurements in the ventilated critically ill patient: fact and controversies- the heat is on. *Crit Care Clin* 26:1–9
11. Schoeller DA (2007) Making indirect calorimetry a gold standard for predicting energy requirements for institutionalized patients. *J Am Diet Assoc* 107:390–2

12. Wells JC, Fuller NJ (1998) Precision and accuracy in a metabolic monitor for indirect calorimetry. *Eur J Clin Nutr* 52:536–40
13. Takala J, Keinanen O, Vaisanen P, Kari A (1989) Measurement of gas exchange in intensive care: laboratory and clinical validation of a new device. *Crit Care Med* 17:1041–7
14. Ultman JS, Bursztein S (1981) Analysis of error in the determination of respiratory gas exchange at varying FiO<sub>2</sub>. *J Appl Physiol* 50:210–6
15. Smyrios NA, Curley FJ, Shaker KG (1997) Accuracy of 30-min indirect calorimetry studies in predicting 24 hour energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients. *J Parenter Enteral Nutr* 21:168–74
16. Cunningham KF, Aeberhardt LE, Wiggs BR, Phang PT (1994) Appropriate interpretation of indirect calorimetry for determining energy expenditure of patients in intensive care units. *Am J Surg* 167:547–9
17. Mc Clave SA, Spain DA, Skolnick JL, et al (2003) Achievement of steady state optimizes results when performing indirect calorimetry. *J Parenter Enteral Nutr* 27:16–20
18. Sundström M, Tjäder I, Rooyackers O, Wernerman J (2011) Indirect calorimetry in mechanically ventilated patients: a systematic comparison of three instruments. *Clin Nutr Supplements Suppl* 1:164
19. Singer P, Pogrebetsky I, Attal-Singer J, Cohen J (2006) Comparison of metabolic monitors in critically ill ventilated patients. *Nutrition* 22:1077–86
20. Vermeij CG, Feenstra BW, van Lanschot JJ, Bruining HA (1989) Day-to-day variability of energy expenditure in critically ill surgical patients. *Crit Care Med* 7:623–6
21. Mora B, Mouhieddine M, Ruiz-Santana S, et al (2009) Overfeeding, underfeeding, and association with ICU length of stay and outcome: Does the caloric target matter? Data from ICU nutritionday (2009). *Clinical Nutrition* 24: suppl2, 0018
22. Dvir D, Cohen J, Singer P (2006) Computerized energy targeting adapted to the clinical conditions balance and complications in critically ill patients: an observational study. *Clin Nutr* 25:37–44
23. Villet S, Chiolo RL, Bollmann MD, et al (2005) Negative impact of hypocaloric feeding and energy balance on clinical outcome in ICU patients. *Clin Nutr* 24:502–9
24. Faisy C, Guerot E, Diehl JL, et al (2003) Assessment of resting energy expenditure in mechanically ventilated patients. *Am J Clin Nutr* 78:241–9
25. Singer P, Anber R, Cohen J, et al (2011) The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill patients. *Intensive Care Med* 37:601–9
26. Heidegger CP, Graf S, Thiebault R, et al (2011) Supplemental parenteral nutrition (SPN) intensive care unit (ICU) patients for optimal coverage, improved clinical outcome. *Clin Nutr Supplements* 1:2–3
27. Singer P, Pichard C, Heidegger CP, Wernerman J (2010) Considering energy deficit in the intensive care unit (2010) *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 13:170–6
28. Singer P, Berger MM, van den Berghe G, et al (2009) Guidelines for parenteral nutrition: intensive care. *Clin Nutr* 28:387–400
29. McClave SA, Martindale RG, Vanek VW, et al (2009) Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the critically ill patient. *J Parenter Enteral Nutr* 33:277–316
30. Berger MM, Que YA (2011) Bioinformatics assistance of metabolic and nutrition management in the ICU. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 14:202–8
31. Bursztein S, Saphar P, Singer P, Elwyn DH (1989) A mathematical analysis of indirect calorimetry measurements in acutely ill patients. *Am J Clin Nutr* 50:227–30
32. Tappy L, Chiolo R (2007) Substrate utilization in sepsis and multiple organ failure. *Crit Care Med* 35:S531–4
33. Tappy L, Berger MM, Schwartz JM, et al (2006) Metabolic effects of parenteral nutrition enriched with n-3 polyunsaturated fatty acids in critically ill patients. *Clin Nutr* 25:588–95
34. Schwartz JM, Chiolo R, Revely JP, et al (2000) Effects of enteral carbohydrates on de novo lipogenesis in critically ill patients. *Am J Clin Nutr* 72:940–5
35. Singer P (2009) Toward protein-energy goal oriented therapy? *Crit Care* 13:R156