

ARTÍCULO DE REVISIÓN

La calorimetría indirecta. Herramienta para evaluar necesidades energéticas de pacientes con riesgo nutricional

*Indirect calorimetry is a necessary tool to assess
the energy needs of patients with nutritional risk*

Pierre Singer, MD.,¹ Jonathan Rieck, MB:BS.²

-
1. Director Unidad de Cuidado Intensivo Care, Herzlia Medical Center, Israel. Director Instituto de Investigación en Nutrición, Rabin Medical Center, Beilinson Hospital, Israel. Profesor de Anestesia y Cuidado Intensivo, Sackler School of Medicine, Tel Aviv University
 2. Director Clínico, Herzlia Medical Centre, Israel

Resumen

La evaluación de los requerimientos energéticos sigue siendo un desafío en la práctica clínica. Hace más de un siglo, Harris y Benedict propusieron una ecuación basada en el peso, la altura, el sexo y la edad en voluntarios sanos. Desde entonces, se han publicado cientos de ecuaciones predictivas para ayudar a los profesionales de la salud a determinar los objetivos de las necesidades calóricas al lado de la cama del paciente. Sin embargo, cuando se comparan las mediciones con el estándar de oro, se ha encontrado que la mayoría de estas ecuaciones son inexactas. La calorimetría indirecta se ha convertido en una herramienta importante para determinar el gasto energético en reposo en diversas condiciones como obesidad, insuficiencia renal, cáncer, fragilidad, COVID 19 y cuidado crítico. Además, esta cuantificación se ha sumado a la evaluación pronóstica y la severidad de la enfermedad. La calorimetría indirecta se está convirtiendo en un recurso de atención para el clínico en su práctica diaria.

Palabras clave: Calorimetría indirecta; Requerimientos energéticos; Ecuaciones predictivas.

Recibido:
Diciembre 12, 2022

Aceptado:
Febrero 24, 2023

Correspondencia:
Pierre.singer@gmail.com
jonathanri@hmc.co.il

DOI: 10.56050/01205498.2229

Abstract

Evaluating energy requirements remains a challenge in clinical practice. More than a century ago, Harris and Benedict proposed an equation based on weight, height, gender and age based on healthy volunteers. Since then, hundreds of predictive equations have been published to help the clinician determine the energy goals bedside. However, when compared to gold standard indirect calorimetry measurements, most of these equations have been found to be inaccurate. Therefore, indirect calorimetry has become a major tool to determine resting energy expenditure in various conditions such as obesity, renal failure, cancer, frailty, COVID 19, and critical illness. In addition, this measurement has added to the evaluation of the severity and to the prognostic evaluation of the disease. Indirect calorimetry is becoming a point of care resource for the clinician in his daily practice.

Keywords: Indirect calorimetry; Energy expenditure; Predictive equations.

Introducción

En 1793, Antoine Lavoisier, químico francés, presentó su teoría sobre la combustión del oxígeno (1); fue quien desarrolló el primer calorímetro de hielo para determinar el calor involucrado en varios cambios químicos. Lavoisier descubrió que la producción de calor se puede predecir a partir del consumo de oxígeno. A partir de este momento, la calorimetría directa e indirecta se ha convertido en la herramienta obligatoria para evaluar el gasto energético en humanos y en un adecuado método de medición en la práctica de nutrición clínica. Se ha utilizado en voluntarios normales, pacientes ambulatorios y hospitalizados, así como en pacientes críticos ventilados. Es nuestro propósito en esta revisión desarrollar las bases teóricas de la calorimetría indirecta (CI) y su aplicación en diversas situaciones clínicas.

Bases teóricas

El principio básico de CI se deriva de la suposición de que el cuerpo humano quema sus combustibles disponibles usando oxígeno (O₂) mientras produce dióxido de carbono (CO₂). Este dispositivo no detecta las interconversiones metabólicas que puede

sufrir un sustrato antes de su desaparición de la reserva metabólica. En este modelo, todo el oxígeno se consume por completo y el dióxido de carbono espirado se produce solo a partir de la oxidación completa de los combustibles (2, 3). La mayoría de los circuitos integrados utilizan la concentración y los volúmenes de gas inspirado y espirado para calcular el consumo de oxígeno (VO₂) y la producción de dióxido de carbono (VCO₂) (4, 5, 6). Algunos de ellos miden solo VCO₂ con menos precisión (7, 8). Los monitores metabólicos ahora disponibles como módulos de cabecera portátiles, permiten a los médicos estimar con precisión las demandas metabólicas del paciente para una amplia variedad de condiciones clínicas. La mayoría de los instrumentos disponibles comercialmente pueden medir el VO₂ con una precisión superior al 95 %. La ecuación de Weir (2) es la más utilizada para calcular el gasto energético en reposo (REE por sus siglas en inglés, resting energy expenditure):

$$REE = 3,91 \times VO_2 + 1,1 \times VCO_2 - 3,34 \times NM.$$

NM es la excreción de nitrógeno urinario y tiene un pequeño impacto en el cálculo.

La CI se puede utilizar en clínicas ambulatorias y en pacientes ventilados según se requiera (6, 9, 10). Algunas categorías de pacientes no son elegibles para la medición, por ejemplo, pacientes que requieren oxígeno suplementario superior a 0,6 FIO₂, aquellos que sufren de fuga de aire (neumotórax) o pacientes inestables (11).

Evidencia clínica

Calorimetría Indirecta vs. ecuaciones predictivas

El gasto energético total diario (TDEE, por sus siglas en inglés: total daily energy expenditure) en humanos tiene tres componentes: la tasa metabólica basal (BMR, por sus siglas en inglés: basal metabolic rate), el efecto térmico de los alimentos y la termogénesis activa (11). La BMR está muy cerca del gasto de energía en reposo (REE) cuando un individuo en estado posabsortivo está en reposo. En individuos sedentarios, el REE representa alrededor de dos tercios del TDEE. Sin embargo, a veces se asume -erróneamente- que este concepto también se puede aplicar en pacientes en estado crítico. Harris y Benedict, y muchos investigadores después de ellos, sugirieron ecuaciones predictivas desde hace más de 100 años y estas son ampliamente utilizadas en el mundo (12). No obstante, cuando se compara con REE obtenido por calorimetría indirecta (el estándar de oro), se ha demostrado que la mayoría de las ecuaciones predictivas son inexactas en varios entornos clínicos, incluidos obesidad, diabetes, cuidados intensivos, insuficiencia renal, etc. (13, 14). La mayoría de las ecuaciones (en más del 50 % de los casos) presentan errores tanto por encima como por debajo de la evaluación (Figura 1) (15). Por lo tanto, la CI se ha convertido en el estándar de oro para la determinación de REE (14) y es recomendado por múltiples guías ESPEN (16-26).

Cuidados intensivos

Las guías ESPEN recomiendan el uso de calorimetría indirecta para evaluar el gasto de energía

cuando esté disponible (16). Esta medida guiará al médico en la prescripción de la terapia nutricional médica, del mismo modo que son necesarios los niveles de azúcar en sangre para prescribir insulina o la presión arterial para prescribir vasopresores. Recientemente se ha obtenido más evidencia basada en estudios de ensayos clínicos aleatorios prospectivos (PRCT por sus siglas en inglés) (27, 28) y 2 metaanálisis (29, 30) que indican una ventaja clínica al usar la CI como guía para la terapia. Parece que la sobrealimentación y la subalimentación son perjudiciales para el resultado de los pacientes y, por lo tanto, es obligatoria una evaluación cuidadosa del paciente, principalmente en aquellos de alto riesgo y con estancias hospitalarias prolongadas (31). El gasto energético puede variar durante la estancia en la UCI y, en situaciones de alteraciones clínicas, repetir las mediciones puede ser útil (31). Hoy en día, muchos dispositivos brindan una fácil medición de REE en un corto período de tiempo o incluso de forma continua a través de un módulo (5). Si la medición de VO₂ y VCO₂ no están disponibles de manera simultánea, se puede usar la medición de VCO₂ proveniente del ventilador, si está disponible se puede aplicar la ecuación $REE = 8,2 VCO_2$ (32). Parece que el requerimiento energético a un valor en torno del 70 % del REE medido se asocia con la mejor supervivencia, sin embargo, no se debe olvidar la importancia de la proteína en la terapia nutricional (31).

Covid-19

Algunas asociaciones científicas se han mostrado reacias a utilizar la calorimetría indirecta durante la pandemia con el objeto de reducir los riesgos para los profesionales de la salud (33). Sin embargo, otros alentaron su empleo (34, 35) siguiendo la guía que publicamos (36). El uso de calorimetría indirecta en esta población demostró un aumento en el gasto energético en reposo en comparación con lo previsto, principalmente después de dos semanas de hospitalización (37). Los autores concluyeron que “*El empleo de mediciones longitudinales de CI son necesarias para proporcionar objetivos energéticos precisos*

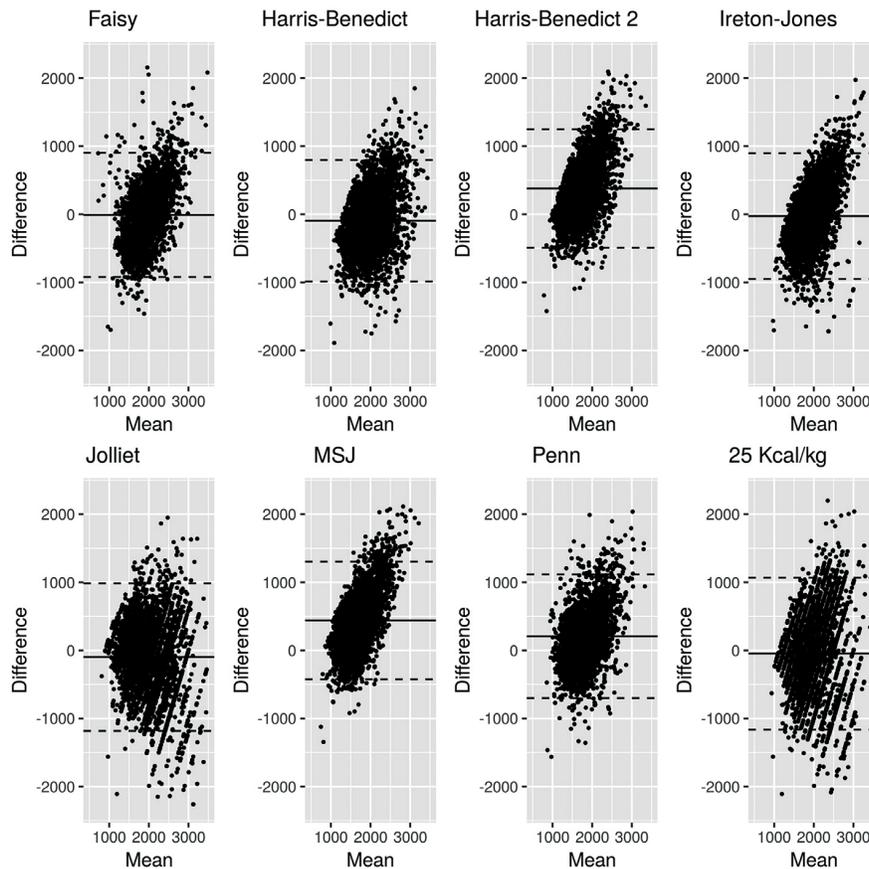


Figura 1. Curvas de Bland Altman de cada ecuación predictiva: el eje 'x' marca la media de las mediciones (CI y REE predicho) y el eje 'y' como su diferencia. A partir de la referencia 15 con autorización de los autores.

y delinear la duración de la respuesta hipermetabólica prolongada. En particular, las medidas de CI son vitales para prevenir la sobrealimentación temprana y, lo que es más importante, la subalimentación significativa y los grandes déficits calóricos potenciales después de la primera semana en la UCI, que fácilmente podrían persistir y acumularse durante períodos prolongados de hipermetabolismo durante la estancia en la UCI". El hipermetabolismo en las fases aguda y pos-aguda junto con una pérdida creciente de nitrógeno urinario puede indicar que los pacientes con COVID-19 permanecen en una fase catabólica aguda prolongada (38).

Cáncer

La desnutrición es muy frecuente en pacientes oncológicos y se asocia con un aumento de la mortalidad. Un soporte nutricional adecuado puede reducir esta

mortalidad y la CI puede orientar la prescripción de energía durante las fluctuaciones del REE durante la enfermedad (16). Es notable notar que los niveles más altos de REE están asociados con una presentación más agresiva del cáncer (39). La masa libre de grasa suele disminuir, pero el REE no siempre refleja esta disminución, ya que se ve afectado por muchos otros factores como la quimioterapia o la radioterapia y, por supuesto, la cirugía (40). Por lo tanto, existen pacientes hipermetabólicos, incluso con caquexia (40). El REE elevado antes de la quimioterapia puede estar asociado con una mayor toxicidad del fármaco y una supervivencia deficiente. Las directrices de ESPEN (17) recomiendan la medición de REE en pacientes con cáncer. Recientemente descubrimos que la REE medida en pacientes con cáncer disminuyó con la edad (41). Este hallazgo es crítico para la provisión calórica apropiada para pacientes mayores con cáncer.

Insuficiencia renal

En 124 pacientes críticamente enfermos con falla renal aguda (AKI, acute renal failure, por sus siglas en inglés) se midió el gasto de energía por CI y se comparó con ecuaciones predictivas (42). Se encontró que el 62 % eran hipermetabólicos y el 14 % hipometabólicos (42). Sin embargo, existen algunas limitaciones teóricas con respecto al uso de CI en la terapia de reemplazo renal continuo (CRRT, por sus siglas en inglés, *continuous renal replacement therapy*). En primer lugar, durante el procedimiento CRRT, el dióxido de carbono se elimina hasta cierto punto, por lo que el empleo del CO₂ medido en las ecuaciones de Weir podría conducir a una subestimación de REE (43,44). En segundo lugar, la CRRT tiene un efecto complejo sobre el metabolismo, la exposición de la sangre del paciente al circuito extracorpóreo y las membranas de los filtros inducen una activación inmunológica y pérdida de calor, un concepto denominado “trauma de diálisis” que resulta en un aumento de la tasa metabólica, aumentando la REE (45).

Estos temas fueron examinados en varios estudios que no demostraron cambios significativos en REE. Las membranas que se utilizan hoy en día en los filtros son biocompatibles y no inducen una respuesta inmunológica significativa. En cuanto a la pérdida de calor, se contrarresta parcialmente mediante el uso de dispositivos de calefacción. Un estudio observacional investigó a 42 pacientes en estado crítico ventilados mecánicamente con AKI; seis de ellos estaban en CRRT. No se encontraron diferencias en la CI medida entre los pacientes con AKI que no recibían CRRT en comparación con los pacientes con AKI que recibían CRRT (46). El estudio de MECCIAS investigó el impacto de CRRT en CI y demostró que las alteraciones del dióxido de carbono debidas a CRRT no son clínicamente significativas, por lo cual no se necesita un factor de corrección para REE. Estos investigadores concluyeron que la CI debe usarse para determinar los objetivos nutricionales durante la CRRT (47). Algunos autores sugieren hacer mediciones de CI durante los intervalos de inactividad durante la

CRRT, reduciendo el efecto del procedimiento. Las pautas de ESPEN recomiendan el uso de calorimetría en pacientes en CRRT (24).

Los frágiles y los obesos

En pacientes con obesidad debe tenerse en cuenta que el gasto energético basal/en reposo aumenta, la termogénesis inducida por la dieta disminuye relativamente y el gasto energético de la actividad aumenta para el mismo ejercicio, pero en general disminuye debido a menores niveles de actividad. La evaluación del gasto energético total en el paciente con obesidad debe tener en cuenta el nivel de actividad (13). La calorimetría indirecta es valiosa cuando las ecuaciones predictivas basadas en el peso son poco precisas. En la pérdida de peso después de la gastrectomía en manga, REE/kg no cambió con el tiempo en pacientes mayores de 30 años (48).

En las personas mayores, el gasto energético de la actividad es menor y, por tanto disminuye el TDEE. Este resultado puede explicarse por la reducción de grasa y tejido muscular, y la contribución relativa de órganos con una tasa metabólica alta. En comparación con la calorimetría indirecta, las ecuaciones de Harris-Benedict funcionaron bien en pacientes de edad avanzada y, cuando se utilizó la masa corporal libre de grasa, la ecuación de Mifflin-St. Jeor fue aún más precisa (13)].

Las pautas actuales de ESPEN para el soporte nutricional en ancianos (49) abogan por la provisión de calorías a 30 kcal/kg/día y proteínas a alrededor de 1 g/kg/día, dirigidas a pacientes malnutridos con metas concretas de calorías y proteínas, recomendaciones específicas para enfermedades específicas, e hidratación tomando 1,6 L/día para mujeres, 2 L/día para hombres. La suplementación de calorías, proteínas y vitaminas guiadas por calorimetría indirecta o ecuaciones predictivas, resultó en una reducción a la mitad de las tasas de mortalidad a los 3 meses (50). En el ensayo EFFORT (51,52), el soporte nutricional individualizado a 2.088 pacientes médicos hospitalizados redujo las tasas de

mortalidad, la necesidad de reingresos y mejoró las capacidades funcionales. (Tabla 1).

Conclusión

Tomando una visión general, la calorimetría indirecta puede apoyar la toma de decisiones en tér-

minos de objetivos energéticos en la mayoría de las enfermedades. Se ha demostrado que esta medida añade importante información diagnóstica y pronóstica. Por ello, debe considerarse como una prueba importante en el punto de atención (52).

Los dispositivos de bajo costo y fáciles de usar permitirán que el médico considere esta técnica cuando

	Recomendado por las guías de ESPEN	Mejor que las ecuaciones	Valor pronóstico	Limitaciones
Cáncer	Si	Sí – el REE es alto en el 40% de los pacientes con cáncer. Gran variación en los resultados de las ecuaciones predictivas de REE basadas en parámetros antropométricos	Los pacientes hipermetabólicos presentan más caquexia El REE elevado antes de la quimioterapia aumenta la toxicidad del fármaco y disminuye la supervivencia	
Cuidado Intensivo	Si (Recomendación grado B de ESPEN)	La gran variabilidad entre paciente y la baja precisión de las ecuaciones basadas en el peso	Los pacientes sépticos tienen un REE más alto, los pacientes frágiles tienen un REE bajo	Si la calorimetría indirecta no está disponible o no es factible ($FIO_2 > 0,6$ o fuga de aire), el VO_2 obtenido a través de un catéter de la arteria pulmonar o el VCO_2 obtenido a partir del ventilador, dan un mejor cálculo del REE que las ecuaciones predictivas.
Fragilidad Geriátrica	Si	Las ecuaciones predictivas tienen generalmente alrededor del 50% de precisión	El REE es generalmente bajo, por lo que el riesgo de sobrealimentación puede ser considerable	

	Recomendado por las guías de ESPEN	Mejor que las ecuaciones	Valor pronóstico	Limitaciones
Renal failure Falla renal	Si incluso en CRRT	No se debe agregar un factor de estrés, ya que podría exponer al paciente a una sobrealimentación		
Covid-19	Si	Incremento del REE después de 14 días	La mayoría de los pacientes están hipermetabólicos	Debe seguir la guía para disminuir la propagación del virus

Tabla 1. Recomendaciones y valores agregados de la calorimetría indirecta en diversas patologías. ESPEN es La Asociación Europea de Nutrición Clínica y Metabolismo, REE es gasto de energía en reposo, FIO₂ es fracción inspirada de oxígeno, VO₂ es consumo de oxígeno, VCO₂ es producción de CO₂, CRRT, insuficiencia renal continua.

prescriba una terapia nutricional médica en un intento de evitar la subalimentación, la sobrealimentación y para disminuir las complicaciones relacionadas con una terapia nutricional inadecuada. Con las mejoras continuas en la tecnología médica, la dificultad del manejo de la CI ha cambiado para convertirse en una opción más compacta, asequible, fácil de usar y, por lo tanto, práctica. Los pacientes ambulatorios, hospitalizados y en estado crítico pueden beneficiarse de esta tecnología para disminuir el grado de incertidumbre relacionado con la evaluación de los requerimientos energéticos. Se debe fomentar la incorporación de CI en la práctica clínica como prueba en el punto de atención, como parte de la práctica de la medicina moderna individualizada.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no tienen intereses financieros ni relaciones personales que pudieran haber influido en este artículo.

Financiación

Ninguna declarada por los autores.

Referencias

1. Morris RJ: Lavoisier and the caloric theory. *Brit J History Sci.* 1972;6:1-38
2. de Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol.* 1949;109:1-9.
3. Fleisch A. Basal metabolism rate standards. *Triangle.* 1958;3:331-338
4. 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;34:60-65.
5. Oshima T, Delsoglio M, Dupertuis YM, Singer P, De Waele E, Veraar C, Heidegger CP, et al. The clinical evaluation of the new indirect calorimeter developed by the ICALIC project. *Clin Nutr.* 2020;39(10):3105-3111
6. 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; 39:1927-1934.
7. Singer P, Pogrebetsky I, Attal-Singer J, Cohen J. Comparison of metabolic monitors in critically ill ventilated patients. *Nutrition.* 2006;22:1077-1086.

8. Koekkoek WAC, Xiaochen G, van Dijk D, van Zanten ARH. Resting energy expenditure by indirect calorimetry versus the ventilator-VCO(2) derived method in critically ill patients: The DREAM-VCO(2) prospective comparative study. *Clin Nutr ESPEN*. 2020;39:137–143.1951;18:23-44.
9. De Waele E, Spapen H, Honore PM, et al. Introducing a new generation indirect calorimeter for estimating energy requirements in adult intensive care unit patients: feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *J Crit Care*. 2013;28:884.e1–886.e6.
10. Oshima T, Berger MM, De Waele E, et al. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clinical Nutrition*. 2017;36:651–662.
11. Lev S, Cohen J, Singer P. Indirect calorimetry measurements in the ventilated critically ill patient: fact and controversies—the heat is on. *Crit Care Clin*. 2010;26:1-9.
12. Harris JA, Benedict FG. *A biometric study of basal metabolism in man*. Washington DC: The Carnegie Institution of Washington; 1919.
13. Bendavid I, Lobo DN, Barazzoni R, Cederholm T, Coeffier M, de van der Schueren M, et al. The centenary of the Harris-Benedict equations: how to assess energy requirements best? Recommendations from the ESPEN expert group. *Clin Nutr*. 2021;40: 690-701.
14. Schoeller DA. Making indirect calorimetry a gold standard for predicting energy requirements for institutionalized patients. *J Am Diet Assoc*. 2007;107:390-392.
15. Zusman O, Kagan I, Bendavid I, et al. Predictive equations versus measured energy expenditure by indirect calorimetry: a retrospective validation. *Clin Nutr*. 2019;38:1206–1210.
16. Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, et al: ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr*. 2019;38:48-79.
17. Arends J, Bachmann P, Baracos V, Barthelemy N, Bertz H, Bozzetti F, et al: ESPEN guidelines on nutrition in cancer patients. *Clin Nutr* 2017;36:11-48.
18. Rousseau AF, Losser MR, Ichai C, Berger MM. ESPEN endorsed recommendations: nutritional therapy in major burns. *Clin Nutr*. 2013;32:497-502.
19. Pironi L, Arends J, Bozzetti F, Cuerda C, Gillanders L, Jeppesen PB, et al. ESPEN guidelines on chronic intestinal failure in adults. *Clin Nutr*. 2016;35:247-307.
20. Gomes F, Schuetz P, Bounoure L, Austin P, Ballesteros-Pomar M, Cederholm T, et al. ESPEN guidelines on nutritional support for polymorbid internal medicine patients. *Clin Nutr*. 2018;37:336-53.
21. Plauth M, Bernal W, Dasarathy S, Merli M, Plank LD, Schutz T, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in liver disease. *Clin Nutr*. 2019;38:485-521.
22. Burgos R, Breton I, Cereda E, Desport JC, Dziewas R, Genton L, et al. ESPEN guideline clinical nutrition in neurology. *Clin Nutr*. 2018;37:354-96.
23. Volkert D, Chourdakis M, Faxen-Irving G, Fruhwald T, Landi F, Suominen MH, et al. ESPEN guidelines on nutrition in dementia. *Clin Nutr*. 2015;34:1052-73.
24. Fiaccadori E, Sabatino A, Barazzoni R, Carrero JJ, Cupisti A, De Waele E, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in hospitalized patients with acute or chronic kidney disease. *Clin Nutr*. 2021;40:1644–68.
25. Turck D, Braegger CP, Colombo C, Declercq D, Morton A, Pancheva R, et al. ESPEN-ESPGHAN-ECFS guidelines on nutrition care for infants, children, and adults with cystic fibrosis. *Clin Nutr*.2016;35:557-77.
26. Mihatsch WA, Braegger C, Bronsky J, Cai W, Campoy C, Carnielli V, et al: ESPGHAN/ESPE/ESPR/CSPEN guidelines on pediatric parenteral nutrition. *Clin Nutr*. 2018;37:2303-5.
27. Singer P, Anbar R, Cohen J, Shapiro H, Shalita-Chesner M, Lev S, et al. The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill. *Intensive Care Med*. 2011;37:601-9.
28. Singer P, De Waele E, Sanchez C, Ruiz Santana S, Montejo JC, Laterre PF, et al. TICACOS international: a multi-center, randomized, prospective controlled study comparing tight calorie control versus Liberal calorie administration study. *Clin Nutr*. 2021;40:380–7.
29. Pertzov B, Bar-Yoseph H, Menndel Y, Bendavid I, Kagan I, Glass YD, Singer P: 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;76:5-15
30. Duan JY, Zheng WH, Zhou H, Xu Y, Huang HB. Energy delivery guided by indirect calorimetry in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2021;25:88.
31. Zusman O, Theilla M, Cohen J, Kagan I, Bendavid I, Singer P. Resting energy expenditure, calorie and protein consumption in critically ill patients: a retrospective cohort study. *Crit Care* 2016;20:367

32. Kagan I, Zusman O, Bendavid I, Theilla M, Cohen J, Singer P. 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;22:186.
33. Chapple LAS, Fetterplace K, Asrani V, Burrell A, Cheng AC, Collins P, et al: Nutrition management for critically and acutely unwell hospitalised patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Australia and New Zealand. *Nutr Diet* 2020;77:426-436.
34. Barazzoni R, Bischoff SC, Breda J, Wickramasinghe K, Krznaric Z, Nitzan D, et al. ESPEN expert statements and practical guidance for nutritional management of individuals with SARS-CoV-2 infection. *Clin Nutr*. 2020;39:1631-8.
35. Thibault R, Seguin P, Tamion F, Pichard C, Singer P: Nutrition of the COVID-19 patient in the intensive care unit (ICU): a practical guidance. *Crit Care*. 2020;24:447.
36. Singer P, Pichard C, De Waele E: Practical guidance for the use of indirect calorimetry during COVID 19 pandemic. *Clinical Nutrition Experimental* 2020;:33:18-23.
37. Whittle J, Molinger J, MacLeod D, Haines K, Wischmeyer PE. Persistent hypermetabolism and longitudinal energy expenditure in critically ill patients with COVID-19. *Crit Care*. 2020;24(1):581.
38. Lakenman PLM, van der Hoven B, Schuijs JM, Eveleens RD, van Bommel J, Olieman JF, Joosten KFM: Energy expenditure and feeding practices and tolerance during the acute and late phase of critically ill COVID-19 patients. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2021;43:383-389.
39. Jouinot A, Vazeille C, Durand JP, Huillard O, Boudou-Rouquette P, Coriat R, et al. Resting energy expenditure in the risk assessment of anticancer treatments. *Clin Nutr*. 2018;37:558-65.
40. Jouinot A, Vazeille C, Goldwasser F. Resting energy metabolism and anticancer treatments. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2018;21:145-51.
41. de Souza MTP, Ozorio AG, de Oliveira GN, Mendoza Lopez RV, Alves-Almeida MF, Kulcsar MAV, et al: Applied nutritional investigation Effect of age on resting energy expenditure in patients with cancer. *Nutrition* 2022;102:111740.
42. Góes CR de, Balbi AL, Ponce D. Evaluation of Factors Associated with Hypermetabolism and Hypometabolism in Critically Ill AKI Patients. *Nutrients*. 2018;10:E505.
43. Branson RD, Johannigman JA. The measurement of energy expenditure. *Nutr Clin Pract*. 2004;19:622-36.
44. May AG, Sen A, Cove ME, Kellum JA, Federspiel WJ. Extracorporeal CO₂ removal by hemodialysis: in vitro model and feasibility. *Intensive Care Med Exp*. 2017;5(1):20.
45. Maynar Moliner J, Honore PM, Sánchez-Izquierdo Riera JA, Herrera Gutiérrez M, Spapen HD. Handling continuous renal replacement therapy-related adverse effects in intensive care unit patients: the dialytrauma concept. *Blood Purif*. 2012;34(2):177-85.
46. Robert R, Méhaud J-E, Timricht N, Goudet V, Mimoz O, Debaene B. Benefits of an early cooling phase in continuous renal replacement therapy for ICU patients. *Ann Intensive Care*. 2012;2(1):40.
47. Jonckheer J, Demol J, Lanckmans K, Malbrain MLNG, Spapen H, De Waele E. MECCIAS trial: Metabolic consequences of continuous veno-venous hemofiltration on indirect calorimetry. *Clin Nutr*. 2020;39:3797-803.
48. Abu El Hajja M, Kohli R. Changes in Resting Energy Expenditure After Sleeve Gastrectomy: a Review of the Literature. *Obes Surg*. 2022 Jul;32(7):2484-2487.
49. Volkert D, Beck AM, Cederholm T, Cruz-Jentoft A, Goisser S, Hooper L, et al. Espen guideline on clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clin Nutr*. 2019;38:10-7.
50. Deutz NE, Matheson EM, Matarese LE, Luo M, Baggs GE, Nelson JL, et al. Readmission and mortality in malnourished, older, hospitalized adults treated with a specialized oral nutritional supplement: a randomized clinical trial. *Clin Nutr*. 2016;35:18-26.
51. Lobo DN. Improving outcomes with a little effort. *Lancet*. 2019;393:2278-80.
52. Schuetz P, Fehr R, Baechli V, Geiser M, Deiss M, Gomes F, et al. Individualised nutritional support in medical inpatients at nutritional risk: a randomized clinical trial. *Lancet*. 2019;393:2312-21.