

Concordancia entre la calorimetría indirecta y las ecuaciones predictivas para estimar gasto energético en reposo

Agreement between indirect calorimetry and predictive equations for estimating resting energy expenditure

Concordância entre a calorimetria indireta e as equações preditivas para estimar o gasto energético em repouso

Lina María Londoño-Londoño^{1*}, Ángela Patricia Montoya-Bernal², Fernando Arango³, José Fernando Escobar-Serna⁴, María Cristina Florián-Pérez^{1,3}, Diana Trejos-Gallego^{1,3}.

Recibido: 19 de enero de 2023. Aceptado para publicación: 5 de febrero de 2024.

Publicación en línea: 7 de febrero de 2024.

<https://doi.org/10.35454/rncm.v7n1.496>

Resumen

Introducción: la determinación del gasto energético es fundamental en los pacientes críticos debido a que la subalimentación o sobrealimentación aumenta su morbimortalidad.

Objetivo: determinar la exactitud y concordancia de la medición del gasto energético en reposo (GER) por calorimetría indirecta (CI) y tres fórmulas predictivas (Harris-Benedict, Regla del pulgar y Penn State) en pacientes ventilados de una UCI de Manizales, Colombia.

Métodos: se incluyeron 31 pacientes hospitalizados en el S.E.S. Hospital Universitario de Caldas, con ventilación mecánica ≥ 48 horas. El GER se calculó para todas las variaciones de peso corporal. Como una medida de precisión de las ecuaciones, se calculó la distribución de pacientes con GER por debajo del 80 % del medido por CI (subestimación), entre 80 % y 110 % (adecuado) y >110 % (sobrestimación), y a partir de análisis con Bland-Altman se evaluó la concordancia.

Resultados: el GER promedio por CI fue de 1441,1 (IC del 95 % 1205,7-1616,5) kcal/kg para mujeres y 1624,5 (IC del 95 % 1414,7-1834,2) para hombres. El análisis de exactitud mostró que la ecuación Penn State calculada con el peso actual tuvo una con-

Summary

Introduction: determining energy expenditure is essential for critically ill patients because underfeeding or overfeeding increases their morbidity and mortality.

Objective: to determine the accuracy and concordance of resting energy expenditure (REE) measurement by indirect calorimetry (IC) and three predictive formulas (Harris-Benedict, rule of thumb, and Penn State) in ventilated patients in an ICU in Manizales, Colombia.

Methods: 31 patients hospitalized at S.E.S. Hospital Universitario de Caldas, with mechanical ventilation ≥ 48 hours were included. REE was calculated for all body weight variations. As a measure of the accuracy of the equations, the distribution of patients with REE below 80 % of that measured by IC (underestimation), between 80 % and 110 % (adequate), and >110 % (overestimation) was calculated, and from analyses with Bland-Altman, concordance was evaluated.

Results: the average REE per IC was 1441.1 (CI 95 %; 1205.7-1616.5) kcal/kg for women and 1624.5 (CI 95 %; 1414.7-1834.2) for men. Accuracy analysis showed that the Penn State equation calculated with current weight had a concordance

Resumo

Introdução: a determinação do gasto energético é fundamental em doentes críticos, uma vez que a sub ou sobrealimentação aumenta a sua morbidade e mortalidade.

Objetivo: determinar a precisão e a concordância da medição do gasto energético em repouso (GER) por calorimetria indireta (CI) e três fórmulas preditivas (Harris-Benedict, Rule of Thumb e Penn State) em doentes ventilados numa UCI em Manizales, Colômbia.

Métodos: foram incluídos 31 pacientes internados no SES Hospital Universitario de Caldas, com ventilação mecânica ≥ 48 horas. O GER foi calculado para todas as variações de peso corporal. Como medida de acurácia das equações, foi calculada a distribuição de pacientes com GER abaixo de 80 % do medido pelo CI (subestimação), entre 80 % e 110 % (adequado) e >110 % (superestimación) e, a partir da análise de Bland-Altman, foi avaliada a concordância.

Resultados: o GER médio por CI foi de 1441,1 (IC 95 % 1205,7-1616,5) kcal/kg para mulheres e 1624,5 (IC 95 % 1414,7-1834,2) para homens. A análise da acurácia mostrou que a equação de Penn State calculada com o peso atual teve uma

cordancia del 44,4 % y fue la que más subestimó con peso ideal y ajustado (51,9 %), la regla del pulgar calculada con el peso actual fue la que más sobreestimó (64,6 %) y el análisis con gráficos Bland-Altman mostró sesgos positivos y negativos.

Conclusiones: se encontró una mala concordancia entre las diferentes ecuaciones predictivas y los valores de GER por CI en pacientes críticamente enfermos de una UCI.

Palabras clave: calorimetría indirecta; metabolismo energético; cuidados críticos; predicción.

of 44.4 % and was the most underestimated with ideal and adjusted weight (51.9 %), and the rule of thumb calculated with current weight was the most overestimated (64.6 %), and the analysis with Bland-Altman graphs showed positive and negative biases.

Conclusions: a poor agreement was found between the different predictive equations and REE values by IC in critically ill patients in an ICU.

Keywords: calorimetry; indirect; energy metabolism; critical care; forecasting.

concordância de 44,4 % e foi a mais subestimada com o peso ideal e ajustado (51,9 %), e a regra de ouro calculada com o peso atual foi a mais superestimada (64,6 %) e a análise com gráficos de Bland-Altman mostrou vieses positivos e negativos.

Conclusões: verificou-se uma fraca concordância entre as diferentes equações preditivas e os valores de GER por CI em doentes críticos internados em UCI.

Palavras-chave: calorimetria indireta; metabolismo energético; cuidados críticos; previsões.

¹ Hospital Santa Sofía. Manizales, Colombia.

² Clínica Santillana. Manizales, Colombia.

³ Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.

⁴ SES Hospital Universitario de Caldas. Manizales, Colombia.

⁵ Hospital Santa Sofía, Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.

⁶ Hospital Santa Sofía, Universidad de Manizales. Manizales, Colombia.

*Correspondencia: Lina María Londoño-Londoño.
lina.londono1992@gmail.com

PUNTOS CLAVE

- Es el primer estudio de la región que compara y evalúa el gasto energético en reposo (GER) mediante calorimetría indirecta (CI) y fórmulas predictivas en pacientes ventilados críticamente enfermos.
- La ecuación de Penn State calculada con el peso actual tuvo una concordancia del 44,4 % y fue la que más subestimó el GER con peso ideal y ajustado (51,90 %), y la regla del pulgar con peso actual fue la que más lo sobreestimó (64,60 %).
- Hay discrepancia entre los reportes de la literatura en relación con la concordancia entre el GER a partir de CI y las ecuaciones predictivas.
- Se encontró una mala concordancia entre las diferentes ecuaciones predictivas y los valores de GER por CI en pacientes críticamente enfermos de una UCI.
- La CI, si está disponible, sigue siendo la herramienta clínica más adecuada para una medición precisa del GER.

INTRODUCCIÓN

Durante el tratamiento de enfermedades críticas, el soporte nutricional óptimo es un aspecto clave para lograr resultados clínicos positivos. En comparación con las personas sanas, los pacientes críticos tienen un mayor gasto energético, lo que aumenta sus necesidades de energía y el riesgo de desnutrición⁽¹⁾.

Se ha demostrado que la alimentación insuficiente aumenta la duración de la estancia hospitalaria, la incidencia de complicaciones como infecciones e insuficiencia orgánica y el riesgo de mortalidad^(2,3). Del mismo modo, la sobrealimentación se ha asociado con diversas complicaciones como hiperglucemia, hipertrigliceridemia, esteatosis hepática, azoemia e hipercapnia, además de una mayor tasa de mortalidad entre los pacientes⁽⁴⁾.

Para proporcionar un aporte nutricional adecuado es necesario determinar el gasto energético en reposo (GER), el cual es definido como la energía necesaria para mantener la actividad metabólica celular básica del cuerpo y las funciones vitales en ausencia de ingesta reciente de alimentos, actividad física y estrés psicológico. Por esta razón, el cálculo del GER en esta población forma parte importante del proceso de atención nutricional⁽¹⁾.

Las guías internacionales recomiendan la calorimetría indirecta (CI) para determinar los requerimientos de energía, ya que es considerada el estándar de oro para proporcionar información precisa del gasto energético para cada paciente en una situación clínica específica. Además de esto, permite medir el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (VCO_2) a partir del análisis de gases respiratorios. No obstante, la disponibilidad de este método es baja en las unidades de cuidado intensivo (UCI) por su alto costo y desconocimiento en cuanto al uso, la aplicación y el análisis de resultados⁽⁵⁾.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Guía de Nutrición Clínica en la UCI de la European Society for Clinical Nutrition (ESPEN) sugiere que en pacientes críticamente enfermos con ventilación mecánica se determine el GER mediante CI y, en caso de no disponer de esta, utilizar un catéter de arteria pulmonar para medición de VO_2 y VCO_2 en lugar de usar las ecuaciones predictivas⁽⁶⁾. Por su parte, la American Society for Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN) sugiere que, en caso de no contar con la CI, se utilice la regla del pulgar (25-30 kcal/kg/día)⁽⁷⁾.

En pacientes de UCI se ha definido la meta calórica como la cantidad de energía requerida para preservar la masa corporal magra y limitar los efectos perjudiciales del catabolismo. Sin embargo, por diversas causas, dichos pacientes no reciben sus requerimientos nutricionales adecuados, suministrándose más o menos calorías de las necesarias; es por esto por lo que se han desarrollado ecuaciones predictivas que incluyen distintas variables⁽⁸⁾.

Entre estas ecuaciones está la de Harris-Benedict, la cual emplea variables “estáticas” como peso, talla, edad y sexo, aún se usa y fue desarrollada con voluntarios sanos, al igual que la ecuación de Mifflin-St. Jeor (MSJ). Otras ecuaciones incluyen parámetros “dinámicos” como temperatura corporal, frecuencia cardíaca y volumen minuto, y algunas otras fueron desarrolladas en pacientes con características diferentes como presencia de trauma o edad mayor a 60 años, como es el caso de la fórmula de Penn State^(9,10). Sin embargo, se ha reportado que estas ecuaciones son poco precisas para la estimación del GER⁽¹¹⁾ en contraste con la medición por CI⁽¹⁰⁾.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la exactitud y la concordancia de la medición del GER por CI y tres fórmulas predictivas (Harris-Benedict, regla del pulgar y Penn State) en pacientes ventilados de una UCI de Manizales, Colombia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio transversal descriptivo de concordancia con pacientes de la UCI de Servicios Especiales de Salud del S.E.S Hospital Universitario de Caldas, con 20 camas, en las que se recibían pacientes adultos con patologías médicas y quirúrgicas. Se incluyeron pacientes ≥ 18 años admitidos a la UCI entre el primero de enero y el 31 de diciembre de 2021, que estuvieran ventilados mecánicamente durante ≥ 48 horas.

Como criterios de exclusión se tuvieron: pacientes fallecidos en las primeras 48 horas desde su ingreso,

diagnóstico de muerte cerebral, inestabilidad hemodinámica dada por presión arterial media (PAM) < 65 mm Hg, inestabilidad respiratoria (saturación de oxígeno por pulsioximetría [SpO_2] $< 88,00$ % o fracción inspirada de oxígeno [FiO_2] $> 60,00$ % o presión arterial de oxígeno [PaO_2] < 60 mm Hg o presión arterial de dióxido de carbono [$PaCO_2$] > 45 mm Hg), infusión de carbohidratos > 15 kcal/kg/día, fugas de aire por el ventilador y por drenaje de neumotórax, diagnóstico de cetoacidosis diabética o intoxicación por alcohol.

La fecha de nacimiento, el peso, la talla, el diagnóstico principal y los diagnósticos asociados se extrajeron de la historia clínica y se registraron al ingreso y a las 48 horas. El registro de peso y talla se realizó con báscula digital (± 100 g) y tallímetro marca SECA (± 1 mm) a los pacientes que fue posible a su ingreso en urgencias. A quienes no fue posible, se estimó la talla por medio de un antropómetro metálico con la fórmula de altura de la rodilla de Chumlea y colaboradores⁽¹²⁾ para cada grupo de edad, y a partir de este dato se estimó el peso ajustado con la fórmula empleada en ventilación mecánica para dicho cálculo. El riesgo nutricional se evaluó con el puntaje Nutric modificado⁽¹³⁾, la temperatura se anotó a partir de la hoja de registro de enfermería y la ventilación minuto se registró directamente del ventilador.

La CI se registró en forma prospectiva durante 30 minutos de acuerdo con la recomendación de la precisión de su medición⁽¹⁴⁾. Se utilizaron módulos de CI marca General Electric conectados a una sonda de espirometría de 3 mm/10 ft conectada, a su vez, a ventiladores R860 y Engstrom. Las mediciones se realizaron en un ambiente tranquilo y termoneutral, y al inicio de cada medición se calibraron los equipos de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Los pacientes estaban en reposo en posición supina durante más de 30 minutos antes de la medición y con un estado de sedación adecuado.

La FiO_2 permaneció constante durante la medición y, en caso de requerir cambios en los parámetros ventilatorios, se retardó la medición durante 90 minutos. El paciente no debía haber recibido anestesia general ocho horas antes de la medición y, en caso de presentarse agitación o dolor, se administraron sedantes o analgésicos al menos 30 minutos antes de la medición del GER. La medición se retrasó durante cuatro horas después de la hemodiálisis y una hora después de realizado un procedimiento doloroso para tener una medida más estable y evitar mediciones erróneas. Se evitó el cuidado rutinario de enfermería y actividades que involucraron otros profesionales de la salud durante la medición de la CI.

En todos los pacientes, el GER se estimó a partir de las ecuaciones de Harris-Benedict, Penn State y MSJ, y el método de la regla del pulgar:

- *Harris-Benedict*⁽¹⁵⁾
 - Hombre: $66,47 + 13,75 (\text{peso en kg}) + 5,00 (\text{estatura en cm}) - 6,75 (\text{edad})$.
 - Mujer: $655,09 + 9,56 (\text{peso en kg}) + 1,84 (\text{estatura en cm}) - 4,675 (\text{edad})$.
- *Penn State*⁽¹⁶⁾
 - $\text{GER (kcal/d)} = \text{MSJ} (0,96) + T_{\text{máx}} (167) + V_E (31) - 6,21$.
- *Mifflin-St. Jeor (MSJ)*⁽¹⁶⁾
 - Hombre: $10(\text{peso}) + 6,25(\text{estatura}) - 5(\text{edad}) + 5$.
 - Mujer: $10(\text{peso}) + 6,25(\text{estatura}) - 5(\text{edad}) - 161$.

La ecuación MSJ utiliza el peso corporal real.

$T_{\text{máx}}$ = temperatura corporal máxima en las últimas 24 horas (grados centígrados).

V_E = ventilación por minuto registrada desde el ventilador en L por minuto.

El índice de masa corporal (IMC) se interpretó de acuerdo con los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS)⁽¹⁷⁾. En todos los pacientes se calculó el peso ideal según el sexo y en los pacientes con IMC >30,00 el peso ajustado.

Análisis estadístico

Los datos continuos se presentan como promedio y desviación estándar (DE) debido a que tuvieron distribución normal, según la prueba de Shapiro-Wilk. El GER estimado (ecuación de Harris-Benedict, regla del pulgar y ecuación de Penn State) se calculó para todas las variaciones de peso corporal (actual, ideal y ajustado).

La precisión relativa de las mediciones de GER estimado, comparado con el GER medido, se resumió utilizando la razón de medición predicha, la cual se calculó como valor medido (numerador) por CI/valor estimado (denominador) a partir de las ecuaciones predictivas. Una razón de medición predicha <1 indicó subestimación del GER, mientras que >1 fue sobreestimación de este. Las razones y sus intervalos de confianza (IC) del 95 % se calcularon utilizando el promedio de todas las mediciones de GER por paciente. La precisión dentro del 10,00 % del GER medido se determinó al cuantificar el porcentaje de casos en el que la razón se encontró dentro de los límites de 0,9 y 1,1. Se calculó la distribución de pacientes con GER por debajo del 80,00 % del medido por CI (subestimación), entre 80,00 % y 110,00 % (aceptable) y >110,00 % (sobrees-

timación). Estos porcentajes se consideraron como una medida de precisión de las estrategias predictivas.

Se utilizó la prueba Chi cuadrado (χ^2) para evaluar las diferencias en la tasa de exactitud de las mediciones y para evaluar la concordancia entre los valores de GER por CI y los estimados por las ecuaciones predictivas; se realizó un análisis de variabilidad de resultados a partir de gráficos de Bland-Altman según el peso actual, ajustado e ideal.

Los límites de acuerdo se establecieron con las siguientes fórmulas:

- Límite superior = sesgo + (1,96 x DE).
- Límite inferior = sesgo - (1,96 x DE)

El análisis se realizó con Stata versión 16.1 (Statacorp, College Station, Texas). Además, se definió un nivel de significancia estadística <0,05.

Consideraciones éticas

La investigación se clasificó como de riesgo mínimo y se preservaron los principios de integridad e intimidad de las personas participantes. Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Manizales, según consta en el acta CBE09 de 2020.

RESULTADOS

En total se estudiaron 31 pacientes, de los cuales el 54,80 % fueron mujeres. El promedio de edad fue de 59,5 años (IC del 95 % 52,8-66,3) y el 45,10 % tenían sobrepeso u obesidad. Una tercera parte (35,60 %) cursó con neumonía por SARS-CoV-2, seguido de trauma (25,80 %), la mayoría requería ventilación mecánica y el 20,70 % tenía riesgo nutricional alto según el puntaje Nutric modificado (**Tabla 1**). El GER promedio medido por CI fue de 1441,1 (IC 95 % 1205,7-1616,5) kcal/día para mujeres y 1624,5 (IC 95 % 1414,7-1834,2) kcal/día para hombres. En la **Tabla 2** se muestra el valor del GER a partir de CI y ecuaciones predictivas según sexo y peso actual, ideal y ajustado.

Los reportes en la literatura utilizan usualmente porcentajes de ingesta con el fin de definir la adecuación del soporte nutricional. Aquellos pacientes que logran una ingesta dentro del rango del 80 %-110 % del objetivo se describen como adecuadamente alimentados. De la misma manera, la literatura define como subalimentación menos el 80 % del objetivo y sobrealimentación como más del 110 % del objetivo⁽¹¹⁾. Teniendo esto en cuenta, la exactitud en las estimaciones de GER calculadas a partir de las ecuaciones predictivas, que están dentro de la categoría de

Tabla 1. Características clínicas de la población estudiada

Variables	n=31	%
Peso		
- Promedio±DE (IC 95%)	67,1 ± 2,4 (IC 95 % 62,2-72,0)	
IMC		
- Bajo peso	2	6,50
- Normal	15	48,40
- Sobrepeso	11	35,50
- Obesidad	3	9,60
Diagnóstico principal		
- Neumonía por SARS-CoV-2	11	35,60
- Trauma	8	25,80
- Patologías del SNC	5	16,10
- Enfermedades cardiopulmonares	3	9,70
- Patologías del TGI	3	9,70
- Enfermedades neoplásicas	1	3,10
Soporte ventilatorio		
- Ventilación mecánica	27	87,10
- CPAP	4	12,90
NUTRIC		
- 0-4	23	79,30
- 5-9	6	20,70

CPAP: presión positiva continua en la vía aérea; NUTRIC: Nutrition Risk in the Critically Ill; SNC: sistema nervioso central; TGI: tracto gastrointestinal.

adecuado, subalimentación y sobrealimentación, se muestran en la **Tabla 2**.

En su mayoría, las ecuaciones subestimaron o sobreestimaron el GER. La ecuación de Penn State calculada con el peso actual logró estimaciones entre el 80 % - 110 % del GER (44,40 %). Sin embargo, esta misma ecuación resultó en subestimación (<80,00 %) en el 40,70 % de los pacientes. La ecuación que más subestimó fue la de Penn State calculada con el peso ideal y el peso ajustado (51,90 %) y la que más sobreestimó fue la regla del pulgar calculada con peso real (64,60 %).

Con respecto a la concordancia entre los métodos comparados, en las **Figuras 1, 2 y 3** se muestran los intervalos de los límites de acuerdo de los valores estimados por CI y las ecuaciones predictivas para el GER según el peso actual, ideal y ajustado mediante las gráficas de Bland-Altman.

Entre GER medido por CI y su estimación mediante la ecuación de Harris-Benedict con peso actual, la gráfica de Bland-Altman mostró ausencia de sesgo. No obstante, esto no garantiza la precisión de las mediciones pues, como se observa en la **Figura 1A**, la dispersión de los datos demuestra la variabilidad de los resultados; la **Tabla 3** describe que esta fórmula subestimó y sobreestimó en el 38,70 % y 22,60 % de los casos, respectivamente. Situación diferente se observó en las **Figuras 1B y C**, en las que se evidencia que la línea de referencia se situó bajo el 0; esto demuestra un sesgo negativo en el que la fórmula de Harris-Benedict

Tabla 2. GER medido por CI y ecuaciones predictivas

GER	Mujeres		Hombres	
	kcal/día Promedio	IC 95%	kcal/día Promedio	IC 95%
CI	1411,1	1205,7-1616,5	1624,5	1414,7-1834,2
Harris-Benedict (peso real)	1265,0	1190,5-1339,5	1522,9	1387,1-1658,7
Harris-Benedict (peso ideal)	1129,5	1060,6-1198,5	1467,2	1326,9-1607,6
Harris-Benedict (peso ajustado)	1176,1	1105,5-1246,7	1482,5	1343,7-1621,3
Regla del pulgar (peso real)	1600,0	1141,5-1788,4	1775,0	1617,3-1932,6
Regla del pulgar (peso ideal)	1293,7	1200,8-1386,5	1708,6	1567,3-1849,9
Regla del pulgar (peso ajustado)	1369,1	1280,2-1558,1	1722,2	1585,2-1859,3
Penn State (peso real)	1125,5	1020,3-1230,6	1527,1	1428,5-1625,5
Penn State (peso ideal)	1023,9	911,3-1136,5	1 499,1	1390,6-1607,5
Penn State (peso ajustado)	1052,2	946,6-1157,9	1502,4	1400,2-1604,7

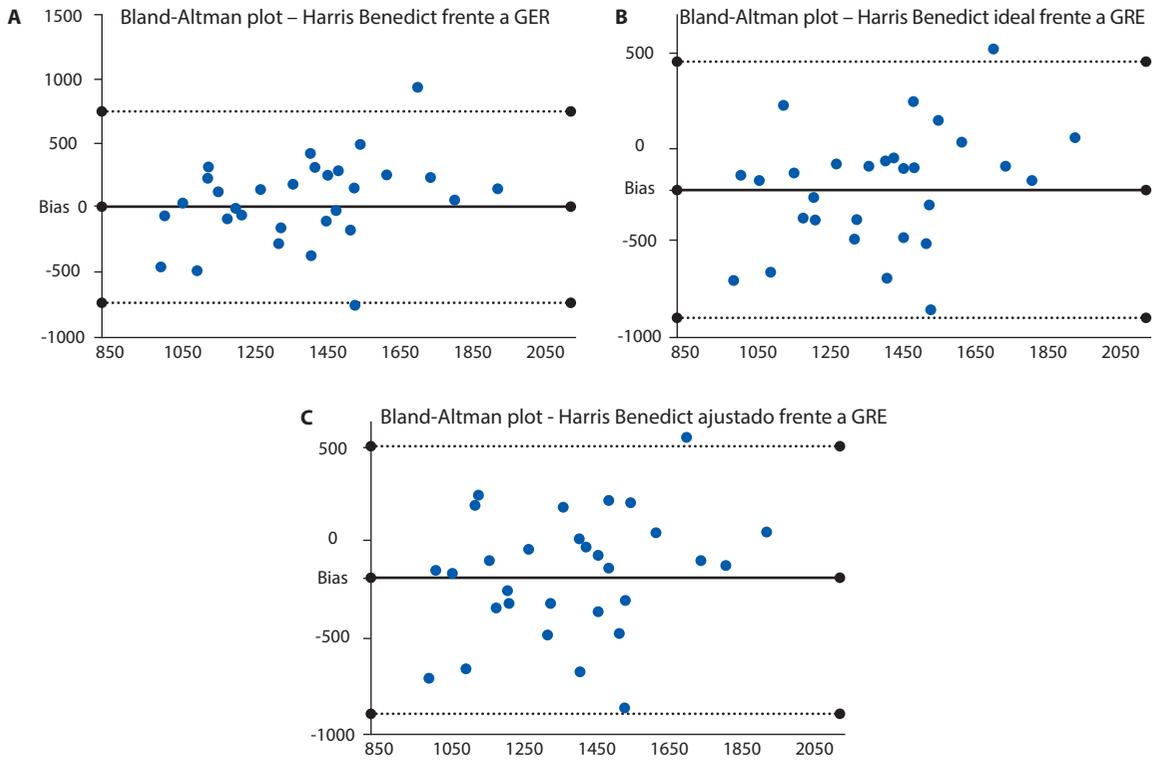


Figura 1. Gráficas de Bland-Altman - Harris-Benedict frente a GER. Gráficas de Bland-Altman - valor calculado por la ecuación de Harris-Benedict frente a GER por calorimetría indirecta: **A.** Según el peso actual. **B.** Según el peso ideal. **C.** Según el peso ajustado.

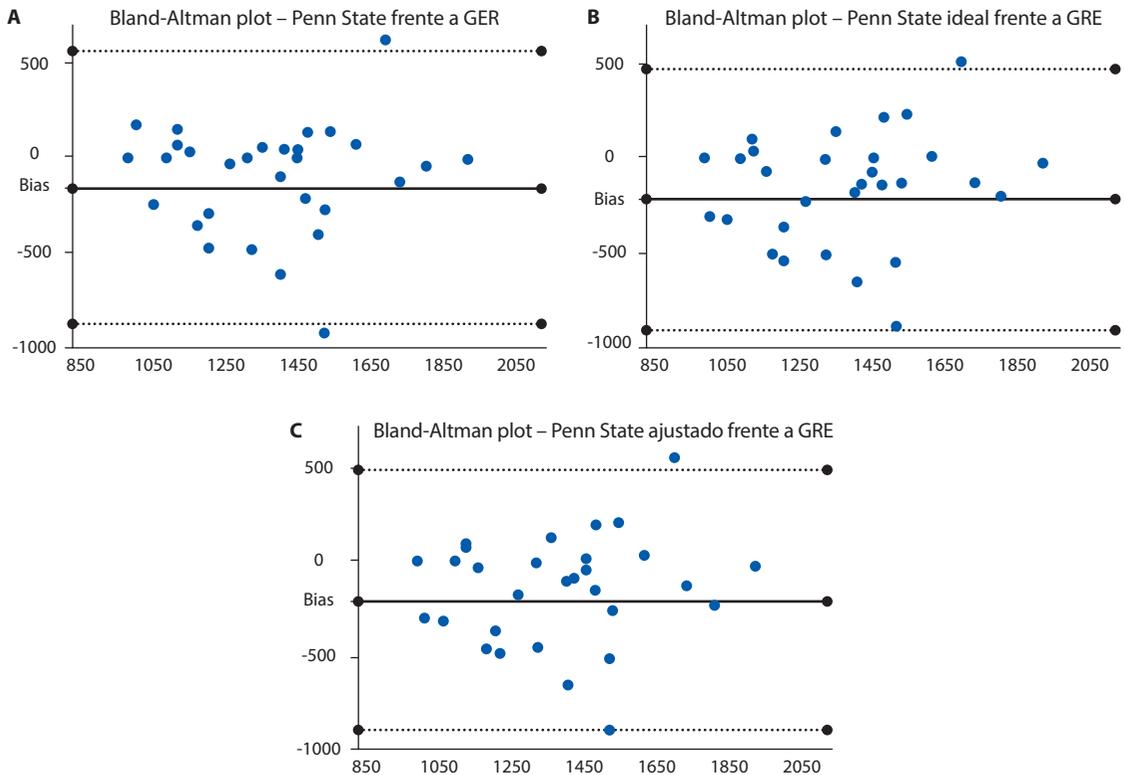


Figura 2. Gráficas de Bland-Altman – Penn State frente a GER. Gráficas de Bland Altman – valor calculado por la ecuación de Penn State frente a GER por calorimetría indirecta: **A.** Según el peso actual. **B.** Según el peso ideal. **C.** Según el peso ajustado.

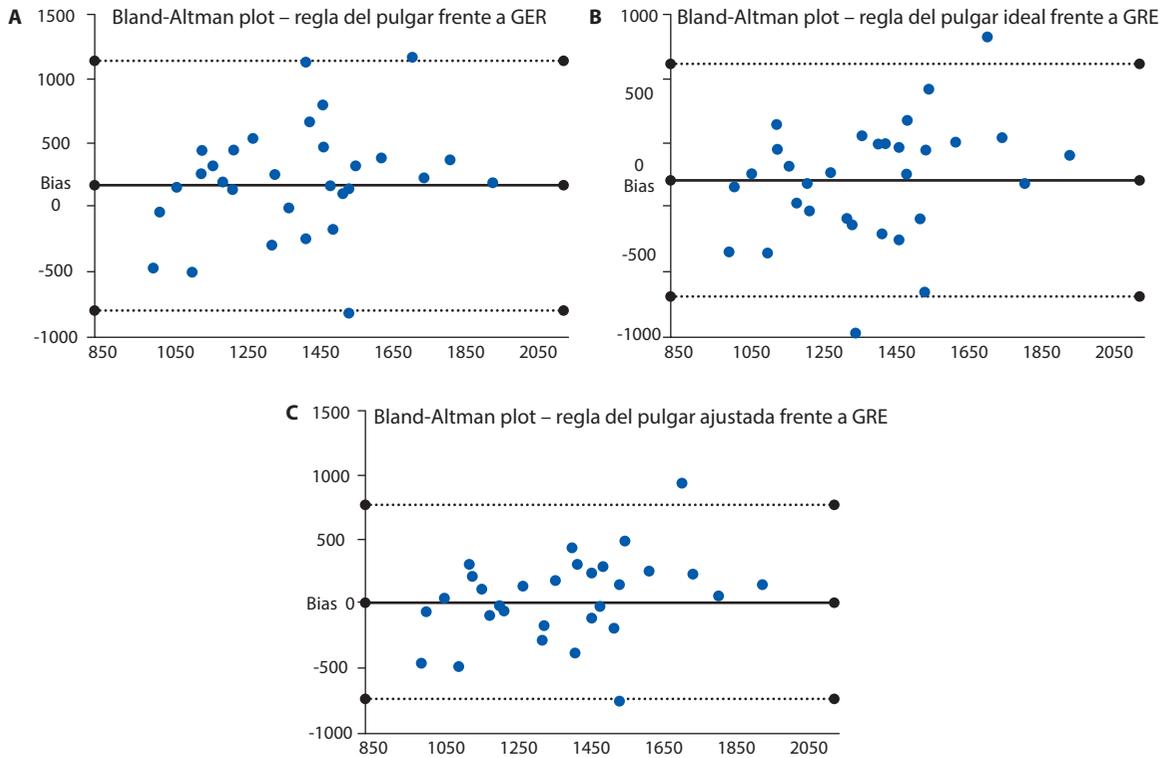


Figura 3. Gráficas de Bland-Altman – regla del pulgar frente a GER. Gráficas de Bland-Altman. Valor calculado por la regla del pulgar frente a GER por CI: **A.** Según el peso actual. **B.** Según el peso ideal. **C.** Según el peso ajustado.

Tabla 3. Exactitud en la estimación de GER a partir de las ecuaciones predictivas

Ecuaciones predictivas	Adecuado		Subestimación		Sobreestimación		p-valor
	n	%	n	%	n	%	
Harris-Benedict (peso real)	12	38,7	12	38,7	7	22,6	0,88
Harris-Benedict (peso ideal)	10	32,3	16	51,6	5	16,1	
Harris-Benedict (peso ajustado)	10	32,3	15	48,4	6	19,3	
Regla del pulgar (peso real)	5	16,1	6	19,3	20	64,6	0,23
Regla del pulgar (peso ideal)	8	25,8	11	35,5	12	38,7	
Regla del pulgar (peso ajustado)	8	25,8	11	35,5	12	38,7	
Penn State (peso real)	12	44,4	11	40,7	4	14,9	0,78
Penn State (peso ideal)	8	29,6	14	51,9	5	18,5	
Penn State (peso ajustado)	8	29,6	14	51,9	5	18,5	

Prueba χ^2 .

ajustada al peso ideal y al ajustado sobreestiman las mediciones de GER.

Para el caso de la fórmula predictiva Penn State, se encontró un sesgo negativo para cada una de las gráfi-

cas de peso actual, ideal y ajustado. Contrario a lo que sucedió en el análisis de la regla del pulgar para peso actual, el cual tuvo un sesgo positivo, lo que evidenció una sobreestimación en la estimación del GER con una

tendencia de los datos a estar por encima de la línea de referencia. Caso similar ocurrió para las otras dos fórmulas de peso ideal y ajustado; sin embargo, la diferencia media entre las medidas comparadas no fue muy variable, con la línea de referencia ubicada en cero.

En general, para cada uno de los análisis de Bland-Altman es notable la dispersión de los puntos respecto a la línea de referencia, lo que indica una mala concordancia entre los métodos comparados y una amplia sobreestimación y subestimación del GER a partir de la utilización de estas ecuaciones predictivas.

DISCUSIÓN

Esta investigación revela resultados significativos en cuanto a la exactitud y concordancia entre las mediciones del GER obtenidas a través de CI y estimaciones proporcionadas por fórmulas predictivas. En nuestro conocimiento, el presente estudio es el primero en la región que compara y evalúa el GER medido con CI y fórmulas predictivas en pacientes en estado crítico. Estos resultados resultan de gran relevancia teniendo en cuenta que este es un parámetro crítico para la evaluación y la planificación de la nutrición de pacientes críticamente enfermos.

Los hallazgos demostraron que las ecuaciones predictivas tienen mala concordancia con la CI sin aproximarse al 50 %. Estas ecuaciones, que son las más utilizadas en la práctica diaria en el manejo del paciente crítico, tienen gran porcentaje de sobreestimación y subestimación del GER independientemente de si se utiliza el peso actual, el ideal o el ajustado. Evidencia similar ha sido reportada en estudios tales como el de Reid⁽¹¹⁾, en el que compararon valores de GER con mediciones continuas de CI y estimaciones a partir de ecuaciones predictivas (Harris Benedict y Schofield), y concluyeron que la concordancia entre estos métodos fue escasa, pues cada una de las ecuaciones dio lugar a una subalimentación y sobrealimentación clínicamente significativa.

De igual manera, Flancbaum y colaboradores⁽¹⁸⁾, al comparar CI, método de Fick y ecuaciones predictivas para GER en pacientes críticos, encontraron una pobre correlación ($r=0,057 - 0,154$) que no mejoró después de ajustar por cambios en el cociente respiratorio. Por lo cual, los autores concluyen que la CI sigue siendo la herramienta clínica más adecuada para esta medición.

Por otro lado, una revisión sistemática realizada por Tatucu-Babet y colaboradores en 2016⁽¹⁹⁾, que incluyó 18 estudios, encontró que, de 13 ecuaciones predictivas

revisadas, el 38 % subestimaron y 12 % sobreestimaron el GER, además observaron diferencias de hasta 43 % por debajo y 66 % por encima de los valores medidos por CI, lo que demuestra las notables discrepancias entre la estimación y la medición por CI.

Así mismo, Aliasgharzadeh y colaboradores⁽²⁰⁾ encontraron un pobre desempeño de siete ecuaciones predictivas al comparar del GER medido con el instrumento Fitmate en mujeres de bajo peso iraníes; y Jagim y colaboradores⁽²¹⁾, en un estudio con atletas jóvenes de ambos sexos, encontraron que cinco diferentes ecuaciones predictivas subestimaron el GER en comparación con CI.

En este trabajo se evidenció que la ecuación predictiva de Harris-Benedict subestimó en gran medida el valor de GER evaluado en pacientes críticos. Esta afirmación no es consistente con estudios publicados, pues en el estudio de Alexander y colaboradores⁽²²⁾, el cual comparó en 76 pacientes con ventilación mecánica el GER evaluado a partir de ecuaciones como la de Harris-Benedict, se infirió que esta ecuación es imparcial, adecuada y precisa para predecir el GER y, por tanto, sugiere su uso en ausencia de CI. La discrepancia entre los resultados que encontramos y los de este estudio podrían deberse a que en este estudio multiplicaron la ecuación por el factor de actividad de 1,2, y en el presente estudio no se hizo de esta forma.

Caso similar fue reportado en una publicación de 2022, en la que investigadores de Florida que evaluaron el grado de concordancia y precisión entre CI y 10 ecuaciones predictivas en pacientes críticamente enfermos con ventilación mecánica concluyeron que la estimación más cercana de GER fue la ecuación de Harris-Benedict⁽²³⁾. Igualmente, un estudio colombiano con diseño descriptivo de corte transversal y de correlación con una muestra de 17 pacientes encontró una buena correlación ($R^2 0,7$), al comparar la ecuación de Harris-Benedict con CI⁽²⁴⁾.

La ecuación de Penn State con peso actual logró estimaciones dentro del rango del 80 %-110 % del GER en casi la mitad de los casos, lo que podría considerarse como una aproximación adecuada en estos pacientes. Sin embargo, subestimó el GER en el 40,70 % de los pacientes, lo que podría llevar a una subalimentación en estos casos. En contraste con estos resultados, un estudio publicado por Frankenfield y colaboradores encontró que la ecuación Penn State proporciona la evaluación más precisa de GER en pacientes críticamente enfermos si no se dispone de CI, pues fue la única imparcial y precisa para todos los subgrupos⁽¹⁶⁾.

Cabe mencionar que este mismo autor, en otras de sus publicaciones, informó que esta fórmula es válida para evaluar GER en pacientes de edad de 60 años o más y con un IMC igual o superior a 30 que estén críticamente enfermos y con ventilación mecánica.

La concordancia entre los métodos comparados reveló la presencia de sesgos tanto negativos como positivos en las estimaciones de GER proporcionadas por las fórmulas predictivas en comparación con la CI. Esto indica que estas ecuaciones no son consistentes ni precisas para la población estudiada, y que no son confiables para guiar la terapia nutricional en esta población de pacientes ventilados en UCI.

La principal fortaleza de este estudio radica en que se hizo con población variada y con diversas patologías que representan la naturaleza dinámica del paciente crítico. No obstante, se reconoce que diagnósticos que estén relacionados con una respuesta inflamatoria sistémica pueden aumentar el metabolismo basal y llevar a una sobreestimación del GER de no tener en cuenta dichos factores. Adicionalmente, se seleccionaron aquellas fórmulas de uso frecuentemente y las predicciones se realizaron con el peso actual, el ideal y el ajustado a diferencia de otros estudios, lo cual da una visión objetiva de su aplicación.

Encontramos varias limitaciones como el tamaño de la muestra, directamente afectado por la disponibilidad de calorímetros, la gravedad de la condición de los pacientes, el fallecimiento antes de lograr la estabilización de los parámetros para obtener la medición y la alta mortalidad debido a los picos de la pandemia por SARS-CoV-2. Además, es importante mencionar que no se empleó la fórmula de Penn State modificada para mayores de 60 años con IMC mayor o igual a 30 como lo sugiere la ASPEN, lo cual hubiera podido tener impacto en los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta los resultados de esta investigación, se sugiere a los centros hospitalarios que no cuenten con el método de CI, promuevan y lleven a cabo investigaciones que tengan como objetivo desarrollar modelos matemáticos que faciliten el cálculo calórico para los pacientes críticamente enfermos y, de esta manera, mitiguen las limitaciones por la escasa disponibilidad de instrumentos para tal fin.

CONCLUSIÓN

La concordancia entre las diferentes ecuaciones y los valores de GER por CI en pacientes críticamente enfermos de una UCI fue mala. Las ecuaciones de pre-

dicción de Harris-Benedict, Penn State y la regla del pulgar pueden dar lugar a sobrealimentación o subalimentación significativa en el entorno clínico; es por esto por lo que la CI, si está disponible, sigue siendo la herramienta clínica más adecuada para una medición precisa del GER.

Declaración de autoría

LM. Londoño, AP. Montoya, F. Arango, JF. Escobar, MC. Florián y O. Jaramillo contribuyeron igualmente a la concepción y el diseño de la investigación; F. Arango y D. Trejos contribuyeron a la adquisición y el análisis de los datos; F. Arango contribuyó a la interpretación de los datos; y LM. Londoño, AP. Montoya, F. Arango y D. Trejos redactaron el manuscrito. Todos los autores revisaron el manuscrito, acuerdan ser plenamente responsables de garantizar la integridad y la precisión del trabajo, y leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiamiento

El estudio fue financiado por el S.E.S Hospital Universitario de Caldas en relación con las sondas para la medición de la CI.

Referencias bibliográficas

1. Ndahimana D, Kim EK. Energy Requirements in Critically Ill Patients. *Clin Nutr Res.* 2018;7(2):81-90. doi: 10.7762/cnr.2018.7.2.81.
2. Faisy C, Lerolle N, Dachraoui F, Savard JF, Abboud I, Tadie JM, et al. Impact of energy deficit calculated by a predictive method on outcome in medical patients requiring prolonged acute mechanical ventilation. *British Journal of Nutrition.* 2009;101(7):1079-87. doi: 10.1017/S0007114508055669
3. Giner M, Laviano A, Meguid MM, Gleason JR. In 1995 a correlation between malnutrition and poor outcome in critically ill patients still exists. *Nutrition.* 1996;12(1):23-9. doi: 10.1016/0899-9007(95)00015-1
4. Weijjs PJ, Looijaard WG, Beishuizen A, Girbes AR, Oudemans-van Straaten HM. Early high protein intake is associated with low mortality and energy overfeeding with high mortality in non-septic mechanically ventilated critically ill patients. *Crit Care.* 2014;18(6):701. doi: 10.1186/s13054-014-0701-z
5. Vargas M, Lancheros P, Barrera MP. Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos. *Rev Fac Med.* 2011;59(Supl 1):S43-58.

6. 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(1):48-79. doi: 10.1016/j.clnu.2018.08.037
7. McClave SA, Taylor BE, Martindale RG, Warren MM, Johnson DR, Braunschweig C, 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. doi: 10.1177/0148607115621863
8. Wichansawakun S, Meddings L, Alberda C, Robbins S, Gramlich L. Energy requirements and the use of predictive equations versus indirect calorimetry in critically ill patients. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(2):207-10. doi: 10.1139/apnm-2014-0276
9. De Waele E, Jonckheer J, Wischmeyer PE. Indirect calorimetry in critical illness: a new standard of care? *Curr Opin Crit Care.* 2021;27(4):334-43. doi: 10.1097/MCC.0000000000000844
10. 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(1):367. doi: 10.1186/s13054-016-1538-4
11. Reid CL. Poor agreement between continuous measurements of energy expenditure and routinely used prediction equations in intensive care unit patients. *Clin Nutr.* 2007;26(5):649-57. doi: 10.1016/j.clnu.2007.02.003
12. Chumlea WC, Guo SS, Steinbaugh ML. Prediction of stature from knee height for black and white adults and children with application to mobility-impaired or handicapped persons. *J Am Diet Assoc.* 1994;94(12):1385-8. doi: 10.1016/0002-8223(94)92540-2
13. de Vries MC, Koekkoek WK, Opdam MH, van Blokland D, van Zanten AR. Nutritional assessment of critically ill patients: validation of the modified NUTRIC score. *Eur J Clin Nutr.* 2018;72(3):428-35. doi: 10.1038/s41430-017-0008-7
14. Schlein KM, Coulter SP. Best practices for determining resting energy expenditure in critically ill adults. *Nutr Clin Pract.* 2014;29(1):44-55. doi: 10.1177/0884533613515002
15. Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1918;4(12):370-3. doi: 10.1073/pnas.4.12.370
16. Frankenfield D. Validation of an equation for resting metabolic rate in older obese, critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2011;35(2):264-9. doi: 10.1177/0148607110377903
17. Nuttall FQ. Body Mass Index: Obesity, BMI, and Health: A Critical Review. *Nutr Today.* 2015;50(3):117-28. doi: 10.1097/NT.0000000000000092
18. Flancbaum L, Choban PS, Sambucco S, Verducci J, Burge JC. Comparison of indirect calorimetry, the Fick method, and prediction equations in estimating the energy requirements of critically ill patients. *Am J Clin Nutr.* 1999;69(3):461-6. doi: 10.1093/ajcn/69.3.461
19. Tatuco-Babet OA, Ridley EJ, Tierney AC. Prevalence of Underprescription or Overprescription of Energy Needs in Critically Ill Mechanically Ventilated Adults as Determined by Indirect Calorimetry: A Systematic Literature Review. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2016;40(2):212-25. doi: 10.1177/0148607114567898
20. Aliasgharzadeh S, Mahdavi R, Asghari Jafarabadi M, Namazi N. Comparison of Indirect Calorimetry and Predictive Equations in Estimating Resting Metabolic Rate in Underweight Females. *Iran J Public Health.* 2015;44(6):822-9.
21. Jagim AR, Camic CL, Kisiolek J, Luedke J, Erickson J, Jones MT, et al. Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes. *J Strength Cond Res.* 2018;32(7):1875-81. doi: 10.1519/JSC.00000000000002111
22. Alexander E, Susla GM, Burstein AH, Brown DT, Ognibene FP. Retrospective evaluation of commonly used equations to predict energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients. *Pharmacotherapy.* 2004;24(12):1659-67. doi: 10.1592/phco.24.12.1659.52342
23. Kamel AY, Robayo L, Liang D, Rosenthal MD, Croft CA, Ghita G, et al. Estimated vs measured energy expenditure in ventilated surgical-trauma critically ill patients. *PEN J Parenter Enteral Nutr.* 2022;46(6):1431-40. doi: 10.1002/jpen.2314
24. Espinosa JJ, Vergara A, Landaeta DP. Calorimetría indirecta versus Harris-Benedict para determinar gasto energético basal en pacientes ventilados [Internet] [Tesis]. Bogotá: Colegio Mayor del Rosario; 2012 [citado el 7 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/ea5944e6-b212-48a2-b77b-d733f37e22c3/content>. doi: 10.48713/10336_3168