

Comparación de métodos de estimación del gasto energético en reposo en adultos jóvenes de Yucatán, México

Juan Carlos Espadas-Herrera¹, Lucía González-Ramírez², Juan Carlos Ávila-López², Reinhard Janssen-Aguilar², Fernanda Molina-Seguí², Rodrigo Huerta-Quintanilla³, Ana María Hernández-Hernández³, Efraín Canto-Lugo³, Hugo Antonio Laviada-Molina^{2*}

1. Servicios de Salud de Yucatán. 2. Universidad Marista de Mérida. Mérida, Yucatán, México. 3. Departamento de Física Aplicada. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, Yucatán, México, Departamento de Ecología Humana. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, Yucatán, México.

ABSTRACT

Comparison of methods for estimating resting energy expenditure in young adults in Yucatan, Mexico)

Introduction. Extrapolation of predictive mathematical equations for resting metabolic rate (RMR) to populations other than the original one where they were developed, may compromise the accuracy of the calculation.

Objective. Compare predictive equations of RMR versus indirect calorimetry (IC) to determine the best alternative for young adult university students in Yucatan.

Method. Cross-sectional study with 34 women and 30 men (20.25 ± 1.5 years) classified according to their body mass index (BMI): not overweight subgroup and overweight subgroup. The RMR measurement was performed through a portable indirect calorimeter. Statistical analysis included bias evaluation with 95% confidence intervals, accuracy, precision, and Pearson correlation ($P=0.01$).

Results. Despite a high correlation between the predictive equations of RMR and IC, it was not possible to identify the one with clear superiority over the rest. The Mifflin St Jeor equation showed some advantages as the total best correlation with calorimetry.

Conclusion. In the clinical practice, predictive equations are useful and accessible instruments that should not be discarded despite its limitations.

RESUMEN

Introducción. Extrapolar ecuaciones matemáticas para la predicción del gasto energético en reposo (GER) a poblaciones diferentes a la original donde fueron desarrolladas, puede comprometer la precisión del cálculo.

Objetivo. Comparar diversas ecuaciones predictivas del GER contra la calorimetría indirecta (CI) para la determinación de la mejor ecuación como alternativa en adultos jóvenes universitarios en Yucatán.

Historial del artículo

Recibido: 9 ene 2019
Aceptado: 15 jul 2019
Disponible online: 1 sep 2019

Palabras clave

calorimetría indirecta, índice de masa corporal, evaluación nutricional, impedancia eléctrica, metabolismo basal, metabolismo energético.

Keywords

calorimetry indirect, body mass index, nutrition assessment, electric impedance, basal metabolism, energy metabolism

Copyright © 2019 por autores y Revista Biomédica.

Este trabajo esta licenciado bajo las atribuciones de la Creative Commons (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

*Autor para correspondencia:

Hugo Antonio Laviada Molina, Universidad Marista de Mérida (Periférico Norte Tablaje Catastral 13941 Carretera Mérida - Progreso. C.P. 97300 Mérida Yucatán, México. Teléfono: (999) 942-9700)
correo electrónico: hlaviada@marista.edu.mx
<http://revistabiomedica.mx>.

Material y Métodos. Estudio transversal con 34 mujeres y 30 hombres (20.25 ± 1.5 años) clasificados de acuerdo a su índice de masa corporal (IMC): subgrupos sin sobrepeso y con sobrepeso. La medición del GER fue a través de un calorímetro indirecto portátil. El análisis estadístico incluyó la evaluación del sesgo con intervalos de confianza del 95%, precisión, exactitud y correlación de Pearson ($p=0.01$).

Resultados. A pesar de la alta correlación entre las ecuaciones predictivas del GER y la CI, no fue posible identificar alguna con clara superioridad frente al resto. La ecuación de MifflinSt Jeor mostró algunas ventajas al evaluar al grupo total.

Conclusión. en la práctica clínica, las ecuaciones predictivas son un instrumento útil y económico que no debe ser descartado a pesar de sus limitaciones.

INTRODUCCIÓN

El gasto energético total (GET) se integra por: el gasto energético basal (GEB), el efecto térmico de los alimentos (ETA) y la energía utilizada para la actividad física (1). Su determinación es de gran interés al ser componente base para la prescripción dietética. La manera más precisa de determinar el GEB es a través de su medición y el estándar de oro en la práctica clínica es la calorimetría indirecta (CI). Esta debe realizarse en reposo y bajo ciertas condiciones: ambiente controlado (temperatura, humedad, ruido y luz), con al menos cinco horas de ayuno (idealmente 10-12 horas), sin que se haya realizado actividad física, con abstinencia de nicotina y caféina, entre otras sustancias estimulantes (2, 3). Por ello, en la práctica clínica la medición del GEB resulta difícil, por lo que el gasto energético en reposo (GER) se utiliza para representar el GEB. Como su nombre lo dice, representa el gasto energético de un individuo sano, en completo reposo, no requiere un ayuno prolongado estricto y es 10-20% mayor que el GEB (4).

La máquina estándar de referencia para la CI fue el Deltatrac™ II Metabolic Monitor (Detex-Ohmeda Inc.), que ya no está disponible en el mercado. Lo cual dio paso a una nueva generación de calorímetros indirectos de alta tecnología fáciles de operar y

transportar (5). A pesar de la disminución en su costo, los equipos tienen accesibilidad limitada, la técnica requiere tiempo y no es factible para todos los individuos (6). El dispositivo MedGEm (Microlife USA, Golden, CO), utilizado en el presente estudio, cuenta con algunos estudios de validación contra el estándar de oro. Aunque, algunos estudios dejan ver que no siempre es equiparable, se considera una buena alternativa por su practicidad y portabilidad (7).

Adicionalmente, como alternativa a los equipos que resultan a veces inaccesibles, se ha propuesto gran variedad de ecuaciones matemáticas para la predicción del GER. Éstas utilizan variables como peso, talla y edad, entre otras. Requieren una mínima inversión de tiempo y no tienen costo. Sin embargo, no todas han sido validadas y las poblaciones en las que fueron desarrolladas cuentan con características específicas. Razón por la cual al extrapolarlas a otras poblaciones pueden comprometer la precisión del cálculo resultando en sobrestimación o subestimación del GER (4, 5).

Por su parte, el uso de la bioimpedancia eléctrica (BIA) se ha vuelto cada vez más popular como método de determinación indirecta de la composición corporal, es simple, no invasiva y accesible (8). También, es capaz de medir la distribución de los líquidos corporales intra y extracelulares, así como de estimar el GER a través de un software que integra ecuaciones predictivas basadas en la medición de la masa magra. Dicha estimación del GER a través de dispositivos que evalúan la BIA ha mostrado buena correlación con la CI (9).

El propósito del presente estudio fue comparar la estimación del GER por diferentes métodos comúnmente utilizados vs CI, para la determinación de la alternativa que mejor represente el GER en adultos jóvenes universitarios en Yucatán.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se diseñó un estudio descriptivo de corte transversal donde se evaluó a 64 adultos jóvenes de los cuales 34 eran mujeres y 30 hombres, con una media de edad de 20.25 ± 1.5 años. Los participantes incluidos fueron estudiantes sanos inscritos en cursos regulares

de la Universidad Marista de Mérida en Yucatán que quisieran participar de manera voluntaria, previa firma de un consentimiento informado. Se excluyeron aquellos sujetos con discapacidad motriz, enfermedad cardíaca, diabetes, enfermedad tiroidea y aquellos que no pudieran cumplir 12 h de ayuno, así como a los estudiantes de la licenciatura en nutrición con el fin de disminuir sesgos. Se incluyeron participantes con talla baja en función de que es una condición frecuente en personas de nuestra región. Los estudiantes que no cubrieron en su totalidad las mediciones fueron eliminados.

Para representar las características de la población y debido a que los sujetos con tendencia al sobrepeso y obesidad han demostrado mayor dificultad en la estimación del GER, (10) se evaluó por separado un subgrupo sin sobrepeso ($IMC < 25 \text{ kg/m}^2$) y el otro con sobrepeso ($IMC \geq 25 \text{ kg/m}^2$) y así poder comparar los métodos predictivos en ambos subgrupos. Los valores utilizados para la subdivisión fueron de la Organización Mundial de la Salud.

Para asegurar la reproducibilidad de las mediciones a los sujetos estudiados, se les citó en el laboratorio de antropometría de la Universidad Marista de Mérida entre las 7:00 y 7:30 am. Se solicitó acudir en ayuno de 12 horas, abstinencia de tabaquismo durante el mismo periodo y no realizar ejercicio intenso en las 24 horas previas a la medición. Para limitar al máximo la actividad física el día del estudio, se pidió a los participantes desplazarse en medio de transporte motorizado y caminar lo mínimo necesario.

Las mediciones antropométricas se realizaron de acuerdo con los métodos establecidos por el *International Society for the Advancement of*

Kinanthropometry (ISAK) y estuvieron a cargo de licenciados en nutrición capacitados y bajo supervisión de personal certificado por ISAK. El peso corporal, la talla y la BIA se midieron en ropa interior y descalzos, con una báscula (TANITA, Modelo BC-418) y tallímetro (Seca, modelo 206) con precisiones de $\pm 100 \text{ g}$ y $\pm 1 \text{ mm}$, respectivamente. Posteriormente, con los datos obtenidos se calculó el IMC (peso en kg/talla en m^2).

Para la determinación del GER, los voluntarios permanecieron en reposo durante 30 minutos en un ambiente termoestable ($20\text{-}21^\circ\text{C}$, para controlar el impacto de la temperatura), silencioso y tranquilo. Se utilizó un equipo portátil de calorimetría indirecta MedGem (Microlife USA, Golden, CO), que no mide la producción de CO_2 . En su lugar, usa una versión abreviada de la ecuación de Weir (11), que utiliza el consumo de oxígeno con un cociente respiratorio constante de 0.85. La prueba dura alrededor de 10 minutos. Se siguieron las instrucciones del fabricante, que indica que tras un ayuno de 12 horas, no se requiere de la estandarización previa de alimentos ni el descarte de los primeros minutos de la prueba. Las validaciones de este equipo portátil frente a la CI fueron realizadas siguiendo estas mismas condiciones (7, 12).

Los resultados de la medición del GER por CI se compararon con los obtenidos de las estimaciones mediante cinco ecuaciones predictivas que utilizan el peso actual. El cálculo a través del software del equipo de BIA se eligió debido al aumento de su aplicación en la práctica clínica. Adicionalmente, se evaluaron las siguientes cuatro fórmulas de las cuales, la cuarta es una propuesta para la población mexicana.

Harris Benedict (HB) (13)

Mujer: $655.1 + [9.563 \times \text{peso (kg)}] + [1.850 \times \text{talla (cm)}] - [4.676 \times \text{edad (años)}]$

Hombre: $66.5 + [13.75 \times \text{peso (kg)}] + [5.003 \times \text{talla (cm)}] - [6.775 \times \text{edad (años)}]$

Mifflin St Jeor (MSJ) (14):

Mujer: $[9.99 \times \text{peso (kg)}] + [6.25 \times \text{talla (cm)}] - [4.92 \times \text{edad (años)}] - 161$

Hombre: $[9.99 \times \text{peso (kg)}] + [6.25 \times \text{talla (cm)}] - [4.92 \times \text{edad (años)}] + 5$

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS) (15)

Mujer: 18-30 años: $[14,7 \times \text{peso (kg)}] + 496$

Hombre: 18-30 años: $[15,3 \times \text{peso (kg)}] + 679$

Valencia (VA) (16)

Mujer: 18-30 años: $[11,02 \times \text{peso (kg)}] + 679$

Hombre: 18-30 años: $[13.37 \times \text{peso (kg)}] + 747$

Análisis Estadístico. El análisis de los datos fue según métodos propuestos para la medición del desempeño y validación de herramientas predictivas. (6, 17, 18). Se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS versión 19 para Windows y Excel Microsoft Office. El análisis incluyó la evaluación del sesgo, precisión, exactitud y correlación de los métodos de estimación con relación a la medición del GER por CI.

El sesgo es la medida en que el método de estimación subestima o sobrestima el valor real. Se obtuvo al calcular el intervalo de confianza (IC) del 95% del error medio (em), es decir, la diferencia promedio entre lo medido (Y) y estimado (Y') es decir el error de predicción (ep). Si el IC incluye el cero, significa que no existe sesgo. Por el contrario, si no lo incluye y los intervalos son negativos, indica una subestimación. En caso de ser positivos, se trata de sobrestimación.

$$ep = Y - Y' \quad em = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N pe_i$$

La precisión o la proximidad de las mediciones entre ellas (19), se evaluó con el cálculo de la raíz del error cuadrático medio (RECM) para conocer qué tan dispersos se encuentran los errores de predicción.

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N pe_i^2}$$

La exactitud que es la cercanía entre el valor estimado y el valor real medido (19). Se evaluó calculando el valor absoluto del ep en porcentaje del valor real (error porcentual absoluto medio [EPAM]).

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y - Y'}{At} \right|$$

Para la evaluación de la exactitud también se calculó el porcentaje de estimaciones entre el 90 y 110% de lo medido y la frecuencia de errores mayores que se refiere al porcentaje de estimaciones que subestiman o sobrestiman lo medido en un porcentaje ≥ 15 . Por último, para determinar el grado de concordancia entre lo medido y lo estimado, se realizó el análisis de correlación de Pearson ($p=0.01$).

RESULTADOS

Los 64 participantes en el estudio tuvieron un rango de edad de 18 a 23 años, donde 30 fueron hombres y 34 mujeres. Solo dos (3%), ambas mujeres, se clasificaron con bajo peso (IMC < 18.5 kg/m²). Aquellos con sobrepeso representaron el 33% y la presencia de obesidad fue nula. Se trata en su mayoría de una población en normopeso. Las características de los participantes en conjunto y por subgrupos según IMC, se muestran en el **Cuadro 1**, así como el resultado de la medición del GER (por calorimetría indirecta) y sus estimaciones (métodos predictivos).

Cuadro 1.
Características de los participantes, medición del gasto energético en reposo y

predicción	del	asto	energético	en	reposo
Variable	Todos	Sin sobrepeso 67% (n=43)	Con sobrepeso 33% (n=21)		
Género					
Femenino % (n)	53 (34)	65 (28)	29 (6)		
Masculino % (n)	47 (30)	35 (15)	71 (15)		
Edad ^a	20.25 \pm 1.5 (18 - 23)	20.09 \pm 1.5 (18 - 23)	20.6 \pm 1.5 (18-23)		
Estatura ^a (cm)	164.4 \pm 7.3 (149 - 179)	163.2 \pm 7.1 (151 - 179)	167.1 \pm 7.1 (149 - 179)		
Peso ^a (kg)	63.2 \pm 10.2 (42.6 - 85.3)	57.9 \pm 7.2 (42.6 - 73.7)	74.1 \pm 6 (60.3 - 86.3)		
IMC ^a (kg/m ²)	23.3 \pm 2.8 (18 - 28.4)	21.7 \pm 1.8 (18 - 24.8)	26.5 \pm 1.1 (25.1 - 28.2)		
GER ^a (kcal)	1216 \pm 328 (750 - 2140)	1134.4 \pm 314.6 (750 - 1930)	1410.5 \pm 299 (1070 - 2140)		
BIA ^a (kcal)	1500 \pm 252 (1122 - 2086)	1398.1 \pm 195.8 (1122 - 1876)	1707.9 \pm 227.6 (1328 - 2086)		

HB ^a (kcal)	1560.8 ± 197.3 (1257.7 - 1972.8)	1375.5 ± 149.2 (1257.7 - 1848.5)	1735.5 ± 167.7 (1418.6 - 1972.7)
MSJ ^a (kcal)	1476.3 ± 203.2 (1119.8 - 1847.8)	1396.2 ± 171.8 (1119.8 - 1765.2)	1640.2 ± 161.4 (1279.2 - 1847.8)
OMS ^a (kcal)	1530.5 ± 239.9 (1122.2 - 1999.3)	1424.2 ± 189.6 (1122.2 - 1806.61)	1748.1 ± 177.9 (1382.4 - 1999.4)
VA ^a (kcal)	1484.4 ± 211.7 (1148.5 - 1900.8)	1392.8 ± 165.8 (1148.5 - 1732.4)	1672.1 ± 168.5 (1343.5 - 1900.8)

a:Media ± desviación estándar (rango).

IMC: índice de masa corporal; GER: gasto energético basal (medido por calorimetría indirecta); BIA (por sus siglas en inglés): análisis de impedancia bioeléctrica; HB: Harris Benedict; MSJ: Mifflin St. Jeor; FAO/WHO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud; VA: Valencia.

Todos los métodos para la estimación del GER tuvieron sesgo hacia la sobrestimación cuando fueron analizados en conjunto y por subgrupos (**Cuadro 2**). Los IC se inclinaron al lado positivo. Sin embargo, la ecuación MSJ fue la que mostró menor amplitud en los IC en conjunto con una mejor exactitud en relación con el EPAM en el total de participantes y en los subgrupos (**Cuadro 3**). Las siguientes dos

ecuaciones que mostraron mejor exactitud, a pesar del sesgo de sobreestimación, fueron VA y BIA. Resaltamos que en el subgrupo sin sobrepeso todos los métodos de predicción mostraron mayor error en la exactitud analizada por el EPAM, especialmente HB y VA. Sin embargo, de manera general las ecuaciones que mostraron mayor sobreestimación e inexactitud fueron HB y OMS.

Cuadro 2. Sesgo de los métodos de estimación (Intervalo de confianza de 95% del error de predicción del gasto energético en reposo)

Método	Todos	Sin sobrepeso	Con sobrepeso
BIA ^a	224 a 326	219 a 309	235 a 359
HB ^a	283 a 328	290 a 392	268 a 382
MSJ ^a	200 a 302	213 a 310	172 a 287
OMS ^a	271 a 375	263 a 361	285 a 403
VA ^a	208 a 311	210 a 307	203 a 320

a:Kcal/día, no existe sesgo si el intervalo de confianza incluye el cero.

BIA (por sus siglas en inglés): análisis de impedancia bioeléctrica; HB: Harris Benedict; MSJ: Mifflin St. Jeor; FAO/WHO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud; VA: Valencia.

Cuadro 3. Diferencia absoluta entre lo estimado y lo medido expresado en porcentaje del valor real

Método	Todos	Sin sobrepeso	Con sobrepeso
BIA ^a	28 ± 16 (0-74)	29 ± 15 (4-71)	26 ± 19 (0 - 74)
HB ^a	34 ± 19 (1-80)	37 ± 19 (1-80)	27 ± 19 (2-73)
MSJ ^a	27 ± 16 (1-67)	30 ± 15 (1-67)	22 ± 16 (2-63)
OMS ^a	31 ± 17 (1-77)	32 ± 16 (1-69)	28 ± 19 (3 - 77)
VA ^a	28 ± 16 (0-69)	33 ± 16 (4-75)	23 ± 18 (0 - 69)

a:Error porcentual absoluto medio ± desviación estándar (rango).

BIA (por sus siglas en inglés): análisis de impedancia bioeléctrica; HB: Harris Benedict; MSJ: Mifflin St. Jeor; FAO/WHO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud; VA: Valencia.

Con respecto a la exactitud analizada al identificar las estimaciones entre el 90 y 110% de la medición por CI, todos los métodos de predicción mostraron ser inexactos. Menos del 20% de las estimaciones se ubicaron dentro de este rango. En el conjunto, la

ecuación de HB resultó ser la más exacta y MSJ la más inexacta. En el subgrupo sin sobrepeso, donde se mostró aún mayor dificultad para alcanzar la exactitud, la BIA y HB resultaron más exactas; MSJ y VA fueron las menos exactas. En el subgrupo de

participantes con sobrepeso, HB y OMS fueron las que demostraron mayor exactitud, la BIA fue la más inexacta. Por su parte, la exactitud analizada por frecuencia de errores mayores fue elevada y muy similar para todos los métodos de predicción. A pesar de que en el conjunto VA mostró menos frecuencia de errores mayores, en el subgrupo sin sobrepeso la frecuencia de éstos fue mayor. La ecuación MSJ fue la que tuvo menor frecuencia de errores mayores en el subgrupo con sobrepeso. (**Cuadro 4**)

Al analizar la precisión utilizando la RECM, en el conjunto y en el subgrupo con sobrepeso, MSJ tuvo el menor valor (323 kcal/día) seguida por VA (330 kcal/día). Por el contrario, HB y OMS fueron las menos precisas (395 y 365 kcal/día, respectivamente). En el subgrupo sin sobrepeso la BIA fue el método de predicción más preciso y HB el menos preciso. (**Cuadro 4**)

Cuadro 4. Exactitud, errores mayores y precisión en los métodos de estimación del gasto energético en reposo

Método	Exactitud ^a			Errores Mayores ^b			Precisión ^c		
	Todos	sSob	cSob	Todos	sSob	cSob	Todos	sSob	cSob
BIA	13	12	14	83	86	76	341	319	384
HB	16	12	24	83	86	76	395	390	393
MSJ	9	5	19	80	86	67	323	324	321
OMS	14	9	24	83	86	76	365	343	407
VA	11	7	19	80	88	71	330	322	343

^a: Porcentaje de estimaciones $\leq 10\%$ de la medición del GER por CI.

^b: Porcentaje de estimaciones $\geq 15\%$ de la medición del GER por CI, también indicador de exactitud.

^c: Raíz cuadrada del error cuadrático medio en kcal/día (RECM)

s:Sob: sin sobrepeso; cSob: con sobrepeso; BIA (por sus siglas en inglés): análisis de impedancia bioeléctrica; HB: Harris Benedict; MSJ: Mifflin St. Jeor; FAO/WHO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud; VA: Valencia.

Todos los métodos de predicción tuvieron una fuerte correlación positiva ($p=0.01$) con la medición del GER por CI; tanto en el conjunto como por subgrupos. La correlación en el subgrupo con

sobrepeso, no obstante, significativa fue menor en comparación con el subgrupo sin sobrepeso (**Cuadro 5**).

Cuadro V. Correlación entre el gasto energético en reposo medido y el estimado, en el conjunto y por subgrupos*

Método	Todos los participantes				
	BIA	HB	MSJ	OMS	VA
HB	.979				
MSJ	.973	.989			
OMS	.968	.990	.987		
VA	.970	.991	.986	.998	
GER	.795	.819	.823	.811	.815

Participantes sin sobrepeso					
Método	BIA	HB	MSJ	OMS	VA
HB	.979				
MSJ	.973	.990			
OMS	.970	.987	.986		
VA	.970	.986	.984	.998	
GER	.849	.853	.843	.842	.852

Participantes con sobrepeso					
Método	BIA	HB	MSJ	OMS	VA
HB	.954				
MSJ	.948	.991			
OMS	.936	.990	.986		
VA	.933	.988	.979	.999	
GER	.585	.657	.650	.629	.628

*Todas las correlaciones son estadísticamente significativas ($p=0.01$)

BIA (por sus siglas en inglés): análisis de impedancia bioeléctrica; HB: Harris Benedict; MSJ: Mifflin St. Jeor; FAO/WHO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud; VA: Valencia.

DISCUSIÓN

Existen alrededor de 200 ecuaciones predictivas propuestas como una alternativa para la estimación del GER, diseñadas y validadas en poblaciones con características muy específicas (actividad física, composición corporal, factores genéticos, entre otras) (20). En el presente estudio, los coeficientes de correlación entre los métodos de estimación y la CI, resultaron positivos y con significancia estadística. Sin embargo, no son suficientes para identificar aquel con una superioridad frente a los demás. El coeficiente de correlación mide el grado de asociación y no tanto la aproximación al valor real; lo que pudiera conducir a una conclusión errónea (17). Al considerar el sesgo, exactitud y precisión; los métodos de predicción no sólo mostraron sesgo hacia la sobrestimación del GER, sino que en el conjunto el error absoluto de la estimación expresado en porcentaje fue del 27 al 34%, sólo entre 9 y 0% de las estimaciones se ubicaron dentro del 90-110% de la medición, los errores mayores se identificaron en más del 80% de las estimaciones y la precisión fue muy pobre.

Una revisión sistemática conducida por Frankenfield y cols. en 2005, concluyó que la ecuación que estimó con mayor exactitud el GER en sujetos sin obesidad y con obesidad fue MSJ (21). Uno de los estudios de alta calidad incluido en la revisión, llevado a cabo en población estadounidense y también dirigido por Frankenfield, determinó que en personas sin obesidad la ecuación MSJ logró una predicción dentro del $\pm 10\%$ en 82% de los sujetos, no hubo sesgo hacia la subestimación o sobrestimación. Siendo la máxima subestimación del 18% y la máxima sobrestimación del 15%. En los sujetos con obesidad las predicciones exactas estuvieron en el 70% de las estimaciones, las subestimaciones fueron más frecuentes y los errores máximos hacia la subestimación y sobrestimación fueron del 20% y 15%, respectivamente (10). En nuestro estudio, a pesar de que la ecuación MSJ presentó sesgo de sobrestimación (al igual que todos los métodos restantes), su precisión fue ligeramente mejor que el resto de los métodos de estimación y tuvo el menor porcentaje de error absoluto en el conjunto (EPAM 27%) y en el subgrupo con sobrepeso (EPAM 22%). En el subgrupo de sujetos sin sobrepeso MSJ ocupó el segundo puesto con menor porcentaje de

error absoluto (EPAM 30%), después de la BIA (EPAM 29%). En contraste, las estimaciones de MSJ dentro de $\pm 10\%$ del GER medido por CI se obtuvieron solamente en 9% de los sujetos. A pesar que MSJ, junto con VA, registró el menor porcentaje de errores mayores, estos continúan siendo elevados al encontrarse en 80% de las estimaciones.

En México, los estudios publicados continúan siendo escasos. (3, 22, 23) No obstante, Valencia propuso una ecuación para mexicanos que lleva su nombre (16). En nuestro estudio, VA se ubicó después de MSJ en cuanto a precisión. Fue la segunda en tener menor error absoluto en el conjunto (EPAM 28%) y en el grupo sin sobrepeso (EPAM 23%). Sin embargo, sus predicciones dentro del $\pm 10\%$ del GER solo incluyeron al 11% de los participantes y la frecuencia de errores mayores se registró en el 80%. Por el contrario, la ecuación de VA ha demostrado tener muy buen desempeño en otros estudios. Parra Carriedo y cols. en una muestra de mujeres mexicanas con obesidad grado I a III, compararon el desempeño de las ecuaciones de HB, OMS, VA y del *Institute of Medicine* (IOM) vs CI. La ecuación de VA mostró un desempeño destacado al generar mayor valor de exactitud en 83% del total de las participantes (3).

La masa libre de grasa es responsable del 60-70% de la variación del gasto energético. Por lo tanto, se ha propuesto que la estimación del gasto energético basado en la masa libre de grasa confiere mayor exactitud (24). La estimación del GER por BIA, aunque superior en exactitud con respecto a estimaciones dentro del $\pm 10\%$ del GER en comparación con las ecuaciones MSJ y VA, tuvo menor precisión y mayor porcentaje de errores mayores.

A pesar de que la ecuación de HB en el conjunto obtuvo el mayor porcentaje (16%) de predicciones dentro del $\pm 10\%$ del GER y hasta 24% en el subgrupo con sobrepeso. Fue el método de estimación más impreciso y los errores mayores se encontraron en 83% de sus predicciones. La ecuación HB fue originalmente validada en caucásicos sanos, es una de las más antiguas y su uso todavía es frecuente. Por ende, ha sido la más evaluada desde su

publicación (18). Varios estudios han establecido que esta ecuación sobrestima sistemáticamente el GER aproximadamente en un 5 % y otros indican que hasta en un 10 a 15% (14, 10, 25). En nuestro estudio, la ecuación HB también tuvo el mayor porcentaje de error absoluto en el conjunto (EPAM 34%) y en el subgrupo sin sobrepeso (EPAM 37%).

Por su parte, la ecuación de la OMS fue desarrollada en población europea, la mayoría militares y policías, 45% de ellos con ascendencia italiana. Esta ecuación también ha reportado sobrestimaciones. En el estudio de Rao y cols., desarrollado en una población con características diferentes a la original, jóvenes chinos de 18 a 25 años con normopeso. La ecuación sobrestimó el GER en el 66.67% de los hombres y 40.91% de las mujeres (25). En este sentido, los resultados encontrados en nuestro estudio indican que la ecuación de la OMS (junto con la ecuación HB), resultó la más imprecisa, con porcentaje de errores absolutos elevados y errores mayores en el 83% de los participantes. Por el contrario, en el estudio de Wejis, que utilizó una muestra de sujetos holandeses con mayor similitud a la población original. La ecuación de la OMS predijo con mayor exactitud el GER en aquellos con sobrepeso, en 68% de los hombres y 72% de las mujeres (26).

Varios estudios han reportado mayor dificultad para estimar de manera exacta el GER en sujetos con obesidad. (18, 21, 26) Un reciente estudio mexicano publicado por Quiroz y cols., comparó el desempeño de varias fórmulas predictivas para la estimación del GER, así como la validación de una nueva fórmula en adultos con sobrepeso y obesidad. Esta condición se relaciona con un aumento de masa grasa y una disminución de masa magra (con mayor actividad metabólica) que pueden suponer un menor desempeño de las ecuaciones predictivas. El grupo de investigadores concluyó que tanto su nueva fórmula como la fórmula de Owen mostraron una mejor estimación del GER (27). Sin embargo, el comportamiento de nuestra muestra de estudio fue contrario. El subgrupo que mostró mayor dificultad fue el de sujetos sin sobrepeso, integrado en su mayoría por mujeres. Donde la exactitud

analizada por el EPAM estuvo entre 30 (MSJ) y 37% (HB) y los errores mayores hasta en 88% de las estimaciones (VA). Coincidentemente, Frankenfield en 2016 encontró que sujetos con IMC <20.5 kg/m² fueron los más difíciles de estimar con exactitud (6).

Las ecuaciones de predicción pretenden estimar únicamente el GER de la población donde fueron desarrolladas. Si se pretenden utilizar en una población distinta a la original, es recomendable someterlas a validación. (18, 10). Para esto, se requiere el mayor rigor metodológico y considerar limitaciones. Como se mencionó anteriormente, el calorímetro de campana (Deltatrac) es la máquina estándar de referencia para la medición del GER. El utilizar una distinta, implica una limitante a considerar al igual que otros aspectos en nuestro estudio que se resaltan a continuación.

Los trabajos que han comparado la medición del GER con Deltatrac contra calorímetros portátiles, han tenido resultados mixtos. Frankenfield y Coleman compararon Deltatrac vs el calorímetro portátil MedGem en una muestra de adultos con y sin obesidad, donde la edad y género no se asociaron a las diferencias de la medición, no así el IMC. El valor de la medición con MedGem estuvo sesgado hacia la sobrestimación al compararlo con Deltatrac. Anteriormente, cinco estudios habían reportado esta tendencia de medir un valor mayor en el consumo de oxígeno y del GER al compararlo con la CI estándar. (7, 2, 28-30) Por el contrario, dos encontraron que MedGem subestima el valor estándar (31, 32) y cinco que la medición es equivalente a Deltatrac (28, 33-35).

Un meta-análisis conducido por Froehle, concluyó que por cada disminución de 1°C en la temperatura media anual con relación a una temperatura base de 10°C, el GEB aumenta de 4-5 kcal/día (36). Debido a que temperaturas elevadas podrían jugar un papel importante y Yucatán cuenta con un clima cálido y tropical, se consideró el control de la temperatura ambiente en el espacio donde se llevaron a cabo las mediciones.

Otros aspectos metodológicos a considerar son la estandarización de la medición, el poder del análisis, el tamaño de la muestra y la importancia de conocer

el nivel de actividad física de los sujetos, así como sus hábitos de alimentación, entre otros.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos no fueron suficientes para demostrar una clara superioridad de alguna de las ecuaciones predictivas del GER (HB, MSJ, OMS, BIA y VA) en los adultos jóvenes de la Universidad Marista de Mérida. Es necesario realizar validaciones de las ecuaciones predictivas utilizando muestras representativas de las diferentes regiones y poblaciones. En la práctica clínica, las ecuaciones predictivas son un instrumento útil y económico que no debe ser descartado a pesar de sus limitaciones.

REFERENCIAS

1. Psota T, Chen KY. Measuring energy expenditure in clinical populations: rewards and challenges. *Eur J Clin Nutr.* 2013 May; 67(5): p. 436-442. DOI: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.38>
2. Frankenfield DC, Ashcraft C. Estimating Energy Needs in Nutrition Support Patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2011 Sep; 35(5): p. 563-570. DOI: <https://doi.org/10.1177/0148607111415859>
3. Parra A, Cherem L, Galindo D, Díaz M, Pérez AB, Hernández C. Comparación del gasto energético en reposo determinado mediante calorimetría indirecta y estimado mediante fórmulas predictivas en mujeres con grados de obesidad I a III. *Nutr Hosp.* 2013 Abr; 28(2): p. 357-364. DOI: <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.2.6188>
4. Haugen HA, Chan LN, Li F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutr Clin Pract.* 2007 Ago; 22(4): p. 377-388. DOI: <https://doi.org/10.1177/0115426507022004377>
5. Kennedy S, Ryan L, Fraser A, Clegg ME. Comparison of the GEM and the ECAL indirect calorimeters against the Deltatrac for measures of RMR and diet-induced thermogenesis. *J Nutr Sci.* 2014; 3: p. e52. DOI: <https://doi.org/10.1017/jns.2014.58>
6. Frankenfield DC, Ashcraft CM. Toward the Development of Predictive Equations for Resting Metabolic Rate in Acutely Ill Spontaneously Breathing Patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2016 Sep; 41(7): p. 1155-1161. DOI: <https://doi.org/10.1177/0148607116657647>
7. Frankenfield DC, Coleman A. An evaluation of a handheld indirect calorimeter against a standard calorimeter in obese and nonobese adults. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2013 Sep; 37(5): p. 652-658. DOI: <https://doi.org/10.1177/0148607112473340>

8. Kyle UG, Bosacius I, De Lorenzo AD, Deurenber P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr.* 2004 Oct; 23(5): p. 1226-1243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>
9. Zanella P, Ávila C, de Souza C. Estimating Resting Energy Expenditure by Different Methods as Compared With Indirect Calorimetry for Patients With Pulmonary Hypertension. *Nutr Clin Pract.* 2018 Abr; 33(2): p. 217-223. DOI: <https://doi.org/10.1177/0884533617727731>
10. Frankenfield DC, Rowe WA, Smith JS, Cooney RN. Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and nonobese people. *J Am Diet Assoc.* 2003 Sep; 103(9): p. 1152-1159. DOI: <https://doi.org/10.1053/jada.2003.50575>
11. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol.* 1949 Ago; 109: p. 1-9.
12. Cooper JA, Watras AC, O'Brien MJ, Luke A, Dobratz JR, Earthman CP, et al. Assessing validity and reliability of resting metabolic rate in six gas analysis systems. *J Am Diet Assoc.* 2009 Ene; 109(1): p. 128-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.10.004>
13. Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA.* 1918 Dic; 4(12): p. 370-373
14. Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr.* 1990 Feb; 51(2): p. 241-247. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/51.2.241>
15. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser.* 1985 Oct; 724: p. 1-206.
16. Valencia ME. Energía. In Bourges H, Casanueva E, Rosado J. *Recomendaciones de Ingestión de Nutrientes para la Población Mexicana: bases fisiológicas.* México: Editorial Médica Panamericana; 2009.
17. Sheiner L, Beal S. Some suggestions for measuring prediction performance. *J Pharmacokinet Biopharm.* 1981 Abr; 9: p. 503-512. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01062337>
18. Frankenfield D, Coleman A, Alam S, Cooney RN. Analysis of estimation methods for resting metabolic rate in critically ill adults. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2009 Ene-Feb; 33: p. 27-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2005.02.005>
19. Menditto A, Patriarca M, Magnusson B. Understanding the meaning of accuracy, trueness and precision. *Accred Qual Assur.* 2007 Oct; 12(1): p. 45-47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00769-006-0191-z>
20. Walker RN, Heuberger R. Predictive equations for energy needs for the critically ill. *Respir Care.* 2009; 54: p. 509-52
21. Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc.* 2005 May; 105(5): p. 775-789. DOI: <https://doi.org/10.1177/0148607108322399>
22. Valencia ME, Moya SY, McNeill G, Haggarty P. Basal metabolic rate and body fatness of adult men in northern Mexico. *Eur J Clin Nutr.* 1994 Mar; 48(3): p. 205-211.
23. Parra A, Pérez-Lizaur A. Comparación de la estimación del gasto energético basal por cuatro ecuaciones versus calorimetría indirecta en mujeres con peso normal, sobrepeso y obesidad. 2012 Apr-Jun; 20(2): p. 63-66.
24. Korth O, Bosy-Westphal A, Zschoche P, Glüer CC, Heller M, Müller MJ. Influence of methods used in body composition analysis on the prediction of resting energy expenditure. *Eur J Clin Nutr.* 2007 May; 61(5): p. 582-589. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602556>
25. Rao ZY, Wu XT, Liang BM, Wang MY, Hu W. Comparison of five equations for estimating resting energy expenditure in Chinese young, normal weight healthy adults. *Eur J Med Res.* 2012 Sep; 17: p. 26. DOI: <https://doi.org/10.1186/2047-783X-17-26>
26. Weijjs PJ. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in US and Dutch overweight and obese class I and II adults aged 18-65 y. *Am J Clin Nutr.* 2008 Oct; 88(4): p. 959-970. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/88.4.959>
27. Quiroz G, Serralde A, Saldaña M, Gulias A, Guevara M. Validating an energy expenditure prediction equation in overweight and obese Mexican patients. *Nutr Hosp.* 2014 Oct; 30(4): p. 749-755. DOI: <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.4.7639>
28. Melanson EL, Coelho LB, Tran ZV, Haugen HA, Kearney JT, Hill JO. Validation of the BodyGem hand-held calorimeter. *Int J Obesity.* 2004 Oct; 12: p. 1479-1484. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802643>
29. Alam DS, Hulshof PJM, Roordink D, Meltzer M, Salam MM, van Raaij J. Validity and reproducibility of resting metabolic rate measurements in rural Bangladeshi women: comparison of measurements obtained by Med Gem and by Deltatrac device. *Eur J Clin Nutr.* 2005 May; 59: p. 651-657. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602122>
30. Fields DAKJT, Copeland KC. MedGem hand-held indirect calorimeter is valid for resting energy expenditure measurement in health children. *Obesity.* 2006 Oct; 14: p. 1755-1761. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2006.202>
31. Compher C, Hise M, Sternber A, Kinoshian BP. Comparison between MedGem and Deltatrac resting metabolic rate measurements. *Eur J Clin Nutr.* 2005 Oct; 59: p. 1136-1141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.12.012>
32. Hlynsky J, Birmingham CL, Johnston M, Gritzner S. The agreement between the MedGem indirect calorimeter

- and a standard indirect calorimeter in anorexia nervosa. *Eating Weight Disord.* 2005 Dic; 10: p. e83-e87. DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602223>
33. Nieman , DC , Trone GA, Austin MD. A new handheld device for measuring resting metabolic rate and oxygen consumption. *J Am Diet Assoc.* 2003 May; 103: p. 588-593. DOI: <https://doi.org/10.1053/jada.2003.50116>
34. St.-Onge MP, Rubiano F, Jones A, Heymsfield SB. A new hand-held indirect calorimeter to measure post-prandial energy expenditure. *Obesity Res.* 2004 Abr; 12: p. 704-709. DOI: <https://doi.org/10.1038/oby.2004.82>
35. Stewart C, Goody CM, Branson R. Comparison of two systems of measuring energy expenditure. *JPEN Parent Enteral Nutr.* 2005 May-Jun; 29: p. 212-217. DOI: <https://doi.org/10.1177/0148607105029003212>
36. Froehle AW. Climate variables as predictors of basal metabolic rate: new equations. *Am J Hum Biol.* 2008 May; 20(5): p. 510-529. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.20769>