



Original/Otros

Concordancia entre calorimetría indirecta y modelos predictivos en una población sana española

Sandra de la Cruz Marcos¹, Beatriz de Mateo Silleras¹, M.^a Alicia Camina Martín¹,
Laura Carreño Enciso¹, Alberto Miján de la Torre^{1,2}, José E. Galgani^{3,4} y M.^a Paz Redondo del Río¹

¹Área de Nutrición y Bromatología. Departamento de Pediatría. Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid, España.

²Servicio de Medicina Interna (Nutrición). Hospital Universitario de Burgos, España. ³Departamento de Nutrición, Diabetes y Metabolismo. Escuela de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago (Chile). ⁴UDA-Ciencias de la Salud, Carrera de Nutrición y Dietética. Escuela de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago (Chile).

Resumen

Objetivo: estudiar la concordancia entre el gasto energético en reposo (GER) obtenido mediante calorimetría indirecta (CI), y las ecuaciones de estimación más utilizadas en población adulta sana española.

Métodos: estudio transversal en el que se determinó el GER en 95 sujetos sanos con normopeso mediante calorimetría indirecta y modelos predictivos (se seleccionaron 45 fórmulas desarrolladas en adultos de características similares a la muestra estudiada que incluían peso, talla, sexo y/o composición corporal). La concordancia entre ambos métodos se analizó mediante el Coeficiente de Correlación Intraclass (CCI) y la prueba de Bland-Altman. La significación se alcanzó con $p < 0,05$.

Resultados: la edad media fue de 42 años (rango: 23,0–63,2). El GER medio estimado por CI en la muestra fue de 1589 (312) kcal/día [1822,3 (224,3) kcal/día en varones y 1379,3 (216,1) kcal/día en mujeres; $p < 0,05$]. Las fórmulas que mejor se ajustaron a la muestra fueron las de De-Lorenzo, Harris-Benedict, Schofield y, especialmente, Korth.

Conclusiones: existen grandes variaciones en la estimación del gasto energético en reposo en función de la ecuación predictiva utilizada. Las fórmulas de De-Lorenzo, Harris-Benedic y Schofield se comportan adecuadamente en la muestra evaluada; sin embargo, la de Korth demostró ser la más apta. Los modelos que incluyen peso y/o talla obtuvieron mejores resultados que los que contienen variables de composición corporal.

(Nutr Hosp. 2015;32:888-896)

DOI:10.3305/nh.2015.32.2.9162

Palabras clave: Gasto energético. Gasto energético en reposo. Calorimetría indirecta. Modelos predictivos del GER.

AGREEMENT BETWEEN INDIRECT CALORIMETRY AND PREDICTIVE EQUATIONS IN A SAMPLE OF SPANISH HEALTHY ADULTS

Abstract:

Objective: the aim of this study was to analyze the agreement between the resting energy expenditure (REE) obtained by indirect calorimetry (IC) and that obtained by prediction equations in a sample of healthy adults from Spain.

Methods: a descriptive cross-sectional study was conducted in 95 healthy, normal-weight adults. REE was determined by IC and 45 population-specific prediction equations which were based on weight, height, sex and/or body composition (BC). The Intraclass Correlation Coefficient (ICC) and Bland-Altman plots were used to analyze the agreement between the REE obtained by IC and that obtained by prediction equations. The level of significance was reached at $p < 0,05$.

Results: mean age was 42 years (range: 23.0–63.2). Mean REE determined by CI was 1589 (312) kcal/d [1822.3 (224.3) kcal/d in men and 1379.3 (216.1) kcal/d in women; $p < 0.05$]. The De-Lorenzo, Harris-Benedict, Schofield, and especially the Korth equations showed the greatest level of agreement with respect to IC.

Conclusions: there is high variability in the estimates of REE depending on the prediction equation used. The De Lorenzo, Harris-Benedict, and the Schofield equations showed a good level of agreement in our sample; however, the Korth equation was the most appropriate. Equations based on weight and/or height were more accurate than those which included body composition variables.

(Nutr Hosp. 2015;32:888-896)

DOI:10.3305/nh.2015.32.2.9162

Key words: Energy expenditure. Resting energy expenditure. Indirect calorimetry. REE predictive models.

Correspondencia: Sandra de la Cruz Marcos.
Área de Nutrición y Bromatología, Facultad de Medicina.
Universidad de Valladolid.
C/ Ramón y Cajal, 7.
47005 Valladolid.
E-mail: sandradelacruzmarcos@yahoo.es

Recibido: 1-V-2015.

Aceptado: 19-V-2015.

Abreviaturas

CI: calorimetría indirecta.
CCI: coeficiente de correlación intraclase.
CC: composición corporal.
GEB: gasto energético basal.
GER: gasto energético en reposo.
GET: gasto energético total.
IMC: índice de masa corporal.
MG: masa grasa.
MLG: masa libre de grasa.
OMS/WHO: Organización Mundial de la Salud.

Introducción

La estabilidad de las reservas corporales depende en gran medida del equilibrio energético en el organismo; es decir, del mantenimiento del balance entre la energía ingerida y la gastada. En cualquier abordaje nutricional la ingesta debe adecuarse a los requerimientos energéticos y nutricionales. Para ello, es imprescindible conocer del modo más preciso posible el gasto energético total (GET)¹.

Los componentes principales del GET son: el gasto energético basal (GEB), la termogénesis y la actividad física. El GEB supone el 60-70% del GET en sujetos sedentarios, y aproximadamente el 50% en sujetos activos, por lo que se considera el componente mayoritario². En condiciones normales determinar el GEB resulta complicado, pues se requiere un ayuno de 12 horas, 8h de reposo físico y relajación mental y neutralidad térmica³. Por ello, habitualmente se mide el gasto energético en reposo (GER), variable que incluye el metabolismo basal y el consumo de energía asociado al mantenimiento de la vigilia en situación de reposo muscular. Muchos autores consideran equivalentes GEB y GER^{4,6}, aunque el GER es entre un 8 y un 10% mayor que el GEB^{7,8}.

En la actualidad, la calorimetría indirecta (CI) es considerada como la técnica de referencia para la estimación del GER⁹. Sin embargo, en la práctica clínica los modelos de predicción del GER son el método más utilizado, dado que pueden ser aplicados a cualquier persona, son ampliamente disponibles y muy económicos. El inconveniente de su utilización es que, cuando se emplean en poblaciones diferentes a aquellas en las que fueron desarrollados, presentan una alta variabilidad¹⁰⁻¹³.

Uno de los modelos predictivos más utilizados es el de Harris y Benedict¹⁴, publicado en 1919. Aunque varios estudios han evidenciado que esta fórmula tiende a sobreestimar el GER¹, otros autores, como Frankenfield¹⁵, defienden su utilización en individuos con peso normal.

A lo largo del siglo xx se han propuesto diferentes modelos. De ellos, el que se desarrolló con la muestra más grande fue el de Schofield de 1985, obtenido a partir de más de 7.000 sujetos¹⁶. Este modelo es el que

utilizó la OMS en su revisión de la estimación de los requerimientos energéticos⁶.

Los parámetros que intervienen en la variabilidad del gasto energético, a pesar de su extenso estudio, no son del todo conocidos. El modelo explicativo desarrollado por Johnstone¹⁷ en 2005 determinó que la variación del GER se explica principalmente por la composición corporal (CC) y la edad de los sujetos; también contribuían otros factores como el sexo y algunas hormonas (T3, T4 y leptina); aunque aún quedaba el 26,6% del modelo sin explicación. En este sentido, las fórmulas predictivas se pueden clasificar en dos grupos: ecuaciones que contengan variables de composición corporal (masa libre de grasa (MLG) y/o masa grasa (MG)) y ecuaciones sin estas variables (edad, peso, talla, sexo y/o etnia). En los últimos años, se ha observado un importante incremento de las primeras, en paralelo al avance de los métodos de análisis de la CC; aunque las últimas siguen manteniéndose como modelos de referencia⁶.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la concordancia entre el GER determinado por calorimetría indirecta (CI) en una población adulta sana española y el estimado a partir de los modelos predictivos más utilizados.

Material y métodos

Se ha realizado un estudio descriptivo transversal. Se estimó un tamaño muestral de 80 individuos para un CCI esperado entre la CI y los modelos predictivos de 0.850, una confianza del 95% y un error máximo del 0.10. Se añadió un 10% por posibles pérdidas, por lo que el tamaño necesario final fue de 88 sujetos. Se seleccionaron consecutivamente 95 voluntarios sanos (45 varones y 50 mujeres) residentes en Castilla y León con edades comprendidas entre 19 y 65 años. Se incluyeron sujetos con un índice de masa corporal (IMC) inferior a 25 kg/m², que prestaran su consentimiento a participar en el estudio y aceptasen cumplir con las normas del mismo. El estudio contó con la aprobación del comité ético del centro y los protocolos empleados siguieron los criterios de la Declaración de Helsinki.

Se recogió la historia clínico-nutricional de cada participante en el estudio mediante una entrevista personal. Se determinó el gasto energético en reposo (GER) mediante calorimetría indirecta, con un calorímetro de mascarilla (Fitmate COSMED, Roma, Italia), siguiendo el protocolo del fabricante. Se realizó un estudio de la composición corporal con un analizador de impedancia monofrecuencia (AKERN BIA-101, Florencia, Italia), según el protocolo de Lukaski¹⁸. Todas las determinaciones se realizaron a primera hora de la mañana, tras 10-12 horas de riguroso ayuno, sin haber fumado ni realizado ningún tipo de ejercicio el día anterior.

Para la selección de los modelos predictivos del GER se revisó la literatura biomédica. Del total de fór-

mulas localizadas se evaluaron 40 desarrolladas para población adulta sana que contenían como variables independientes el peso, la talla, la edad, el sexo y/o la composición corporal (MLG y MG), y cuyo criterio de validación fuera la calorimetría indirecta.

Se utilizó el programa SPSS 18.0 para el análisis estadístico. Las variables se describieron como media (desviación standard) o mediana (percentil 5-percentil 95), en función de la normalidad de su distribución (Kolmogorov-Smirnov). La concordancia entre la calorimetría indirecta y los modelos predictivos se evaluó mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el método de Bland-Altman. Se emplearon los tests t de Student o U de Mann-Whitney para analizar las diferencias de las variables analizadas en función del sexo. La significación estadística se alcanzó con $p < 0,05$.

Finalmente, se seleccionaron las fórmulas que cumplieron los tres criterios siguientes: (i) que la población en la que se hubiera desarrollado la ecuación fuera similar a la del presente estudio (edad, sexo, raza e IMC); (ii) que se obtuviera un $CCI \geq 0,7$ (atendiendo a los criterios de Fleiss¹⁹); y (iii) que no se observara ninguna tendencia lineal de la nube de puntos en el modelo de Bland-Altman.

Resultados

La edad media de los sujetos fue de 42 años (rango: 23 a 63 años). El IMC medio fue de 22,16 (1,9) kg/m². Como se esperaba, los varones presentaron significativamente mayores valores de peso, talla y MLG, y menores valores de MG que las mujeres. El IMC también fue estadísticamente superior en los varones, aunque sin ninguna relevancia clínica (Tabla I).

El GER medio estimado en la muestra total fue de 1589 (312) kcal/día, observándose diferencias estadísticamente significativas en función del sexo: 1822 (224) kcal/día en varones y 1379 (216) kcal/día en mujeres.

Tabla I Características de la muestra			
	Varones (n=45)	Mujeres (n=50)	TOTAL (n=95)
Edad (años)	41,6 (13,0)	42,3 (13,7)	41,9 (13,3)
Peso (kg)	70,4 (7,3)*	58,7 (5,8)	64,3 (8,7)
Talla (cm)	175,1 (6,8)*	163,0 (6,1)	168,7 (8,9)
IMC (kg/m ²)	22,9 (1,7)*	22,1 (1,4)	22,2 (1,9)
MLG (%)	79,7 (70,7 – 93,2)* [†]	69,2 (4,9)	74,6 (7,8)
MG (%)	20,3 (6,8 – 29,3)* [†]	30,8 (4,9)	25,4 (7,8)

IMC: Índice de masa corporal; MLG: masa libre de grasa; MG: masa grasa.

[†]Mediana (p5–p95). * $p < 0,05$ varones vs mujeres.

Atendiendo a los criterios analíticos establecidos, las fórmulas que mejor se comportaron en la muestra estudiada fueron, entre las que contenían como variables de ajuste el peso y la talla, las de De Lorenzo²⁰, Harris-Benedict¹⁴, Korth²¹ y Schofield¹⁶. Ninguna de las ecuaciones que contenía variables de composición corporal cumplió los criterios establecidos (Tabla II y Fig. 1). La ecuación con la que se obtuvieron mejores resultados, respecto a los valores de la calorimetría indirecta, fue la de Korth²¹: diferencia media en el GER de 21,1 (178,7) kcal/día, pendiente de la recta de regresión de 0,12 (0,06) no significativa, y punto de intersección con el eje de ordenadas de -169,3 (103,3); el coeficiente de correlación intraclase fue de 0,90 (IC 95%: 0,84–0,93) (Tabla III). Aunque la fórmula de Harris-Benedict presentó cierta tendencia en el análisis de Bland-Altman, los valores del CCI reflejaron una buena concordancia con la calorimetría indirecta [CCI (IC 95%) de 0,80 (0,54–0,90)].

Los resultados indican que, en la muestra estudiada, el comportamiento de las fórmulas que contienen el peso y la talla es mejor que el de las que contienen variables de composición corporal.

Todos los modelos predictivos seleccionados infraestimaron el GER en la muestra evaluada respecto a los valores obtenidos por calorimetría indirecta, obteniéndose una diferencia máxima de aproximadamente 180 kcal/día con la ecuación de Schofield. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas para todas las fórmulas, excepto para la de Korth. Al estratificar la muestra en función del sexo, dichas diferencias se observan en el caso de los varones para las fórmulas de De Lorenzo, Harris-Benedict y Schofield; en el caso de las mujeres sólo se mantienen para Harris-Benedict y Schofield (Tabla IV).

Discusión

En los últimos años se ha observado un importante incremento de modelos predictivos del GER desarrollados en distintas poblaciones. Sin embargo, existe gran variabilidad en el comportamiento de las distintas ecuaciones en función de diversas características de los sujetos (sexo, etnia, edad, IMC, composición corporal, etc.)¹⁵, y no hay un consenso sobre qué modelo es más preciso en población sana. Por ello, el presente estudio comparó el GER obtenido por calorimetría indirecta en una población adulta sana española con el estimado a partir de los modelos de estimación del GER más utilizados.

La calorimetría indirecta es una técnica sencilla, inocua, rápida y relativamente económica que, en la práctica clínica, se considera como método de referencia⁹. La mayoría de los modelos de estimación del GER se desarrollan utilizando la CI como criterio de validación.

Mediante una exhaustiva revisión de la literatura biomédica para este estudio se evaluaron 40 ecuacio-

Tabla II
Selección de fórmulas predictivas del GER

	Ajustadas por peso y/o talla			Ajustadas por composición corporal		
	ICC≥0,7*	B-A†	Muestra‡	ICC≥0,7*	B-A†	Muestra‡
			Aceptado			Aceptado
Bernstein et al. (1983) ¹	-	-	+	-	-	+
Cunningham (1980) ^{2, #}	+	-	+	+	-	+
Cunningham (1991) ^{4, #}	+	-	+	-	-	-
De Lorenzo et al. (2001) ⁶	+	+	+	-	+	+
Harris-Benedict (1919) ⁸	+	-	+	+	-	+
Henry (P) – Oxford (2005) ¹⁰	+	-	+	+	-	-
Henry (P;T) – Oxford (2005) ¹⁰	+	-	+	+	-	+
Korth et al (2007) ¹³	+	+	+	+	-	-
Liu (2001) ¹⁵	+	+	-	-	-	+
Livingston and Kohlstadt (2005) ¹⁶	+	+	-	-	-	-
Mifflin (1990) ¹⁸	+	-	+	-	-	-
Müller (2004) ²⁰	+	-	-	-	-	+
Owen (1986, 1987) ^{21; 22}	-	-	+	-	-	-
Schofield (P) (1985)-WHO 2001 ^{23; 24}	+	-	+	-	-	-
Schofield (P;T)-WHO 2001 ^{23; 24}	+	+	+	-	-	-
Siervo (2003) ²⁶	-	-	+	-	-	-
University of Memphis (2004) ²⁷	-	-	+	+	-	+
FAO/OMS (P) (1985) ²⁸	+	-	+	+	-	+
FAO/OMS (P;T) (1985) ²⁸	+	-	+	+	-	+
Bernstein et al. (1983) ¹	-	-	+	-	-	+
Elia (1992) ³	+	-	+	+	-	-
Garby et al. (1988) ⁵	+	-	+	-	-	-
Garrow and Webster (1985) ⁷	+	+	+	-	+	+
Heshka et al (1990) ⁹	+	-	+	+	-	+
Jensen et al. (1988) ¹¹	+	-	+	+	-	-
Johnstone et al. (2006) ¹²	+	-	+	+	-	+
Kashiwazaki et al. (1988) ¹⁴	+	+	+	+	-	-
Korth et al (2007) ¹³	+	+	-	+	-	+
Luke & Schoeller (1992) ¹⁷	+	+	-	+	-	-
McNeill et al (1987) ¹⁹	+	-	+	-	-	-
Mifflin (1990) ¹⁸	+	-	-	-	-	+
Müller (2004) ²⁰	-	-	+	-	-	-
Nelson et al. (1992)-1 ²⁵	+	-	+	-	-	-
Nelson et al. (1992)-2 ²⁵	+	+	+	-	-	-
Nelson et al. (1992)-3 ²⁵	-	-	+	-	-	-
Owen (1986, 1987) ^{21; 22}	-	-	+	+	-	+
Ravussin et al (1982) ²⁹	+	-	+	+	-	+
Ravussin et al (1986) ³⁰	+	-	+	+	-	+
Ravussin et al (1989) ³¹	+	-	+	+	-	+
Van der Ploeg and Withers (2002) ³²	-	-	-	-	-	+

ICC: Índice de correlación intraclase; B-A: Estudio de Bland-Altman; Muestra: muestra de referencia de características similares a la muestra (etnia caucásica, adultos y sujetos en normopeso).

*+, -; cumple el criterio. +, -, no cumple el criterio.

*Coeficiente de correlación intraclase ≥0,7 (Criterios de Fleish: buena correlación).

† Análisis de Bland-Altman.

‡ Población y muestra similares a las de nuestro estudio.

La MLG se obtiene a partir del peso de los sujetos mediante la utilización de una ecuación.

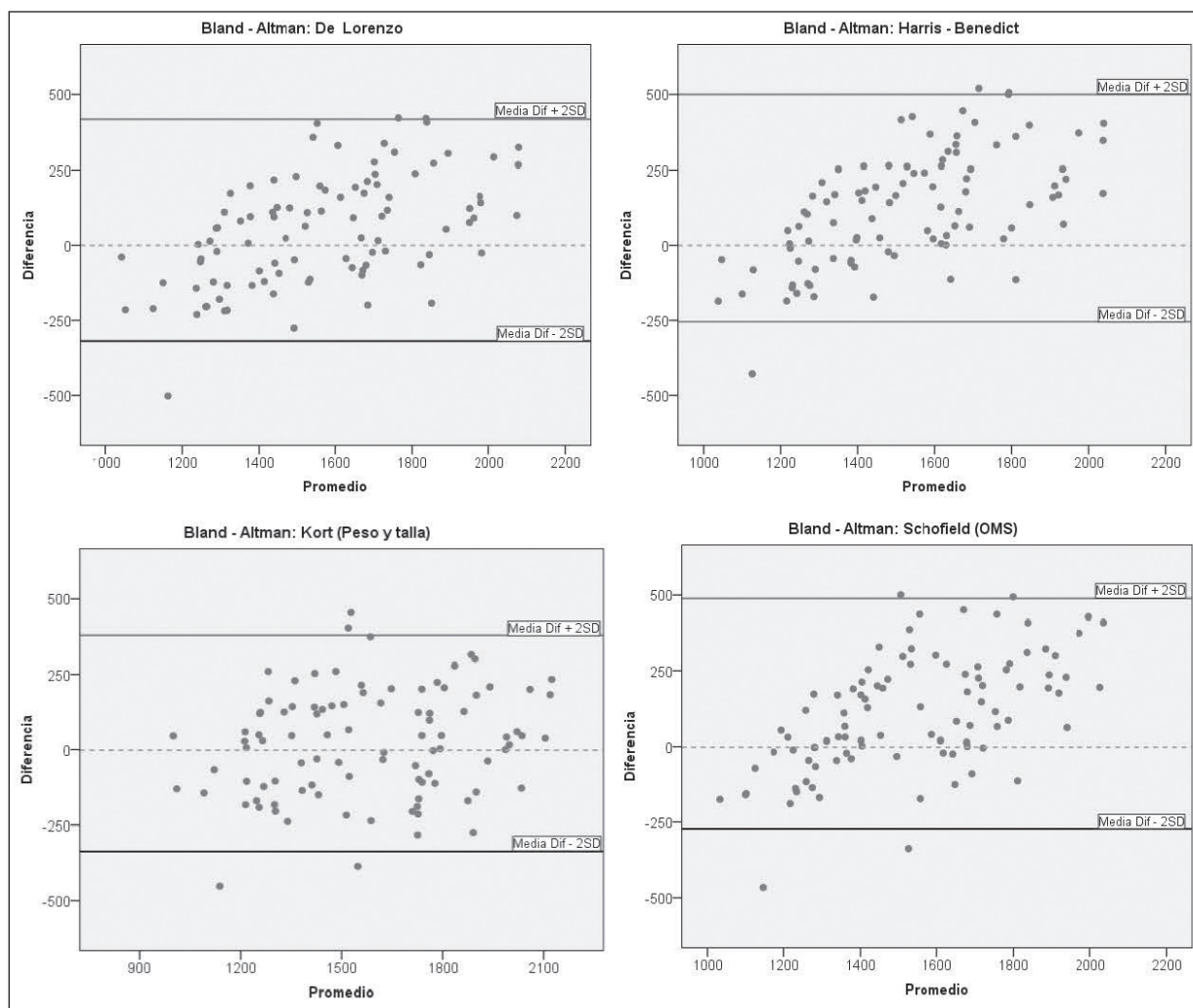


Fig. 1.—Análisis de Bland-Altman para las fórmulas seleccionadas.

nes predictivas desarrolladas en población adulta sana que incluían como variables independientes el peso, la talla, la edad, el sexo y/o la composición corporal (MLG y MG), y cuyo criterio de validación hubiera sido la calorimetría indirecta. De todas ellas se seleccionaron aquellas que se hubieran obtenido a partir de poblaciones con características similares a la de este trabajo (edad, sexo, raza). De todos los modelos analizados se escogieron 5 fórmulas que cumplieran los criterios estadísticos establecidos ($CCI \geq 0,7$ y ausencia de tendencia lineal de la nube de puntos del modelo de Bland-Altman). De los modelos de estimación que incluían variables de composición corporal se excluyeron las fórmulas en las que la MLG o la MG fuera un parámetro derivado de variables antropométricas (peso, IMC), y no medido directamente o estimado indirectamente.

La fórmula de Korth²¹ proporcionó los mejores resultados en base a criterios gráficos y analíticos. El buen comportamiento de este modelo puede deberse a la similitud de la muestra con la que se diseñó la

ecuación y la del presente trabajo: en ambos casos se analizaron adultos sanos de origen caucásico con edades similares. La muestra de Korth incluyó sujetos con sobrepeso y obesidad, por lo que su IMC medio fue mayor y el porcentaje de MLG, menor. Y en la muestra estudiada en el presente trabajo se observó que, aunque los sujetos presentaron IMC dentro de la normalidad nutricional, los porcentajes de MG de algunos de ellos fueron algo elevados, lo que hace que ambas poblaciones sean similares en cuanto a composición corporal.

Aunque para el resto de las ecuaciones seleccionadas se obtuvieron valores de CCI elevados y estadísticamente significativos, todas ellas presentaron cierta tendencia positiva en la nube de puntos del gráfico de Bland-Altman.

La población italiana con la que De Lorenzo⁴⁷ desarrolló su ecuación estaba formada por un mayor número de mujeres que de varones, y de más edad. Estas características podrían explicar las pequeñas diferencias observadas. Igual que el modelo de Koth, la ecuación

Tabla III
Características de las fórmulas predictivas del GER seleccionadas

	n	Características antropométricas de los sujetos	Ecuación		Dif. Media (SD)	Bland - Altman		CCI
			Varones	Mujeres		b (SEE)	a (SEE)	
DeLorenzo et al. (2001) ⁶	127V, 193M (18-59)	IMC: 17-40 (media 27) kg/m ²	53.284P + 20.957T - 23.859E + 487 (kJ/d)	46.322P + 15.744T - 16.66E + 944 (kJ/d)	50,4 (183,5)	0,39 (0,06)	≤0,001 (100,85)	≤0,001 0,86 (0,79-0,91)
Harris-Benedict (1919) ⁸	136V (19-63) 103M (15-74)	P: 34,6-94,5 kg T: 149-178 cm	66.47 + 13.75P + 5.0T - 6.76E (kcal/d)	655.0955 + 9.5634P + 1.8496T - 4.6756E (kcal/d)	122,8 (188,7)	0,36 (0,06)	≤0,001 (98,20)	≤0,001 0,80 (0,54-0,90)
Korth et al. (2007) ¹³	50V, 54M (21-68)	IMC: 26 (18-41) kg/m ²	41.5P + 35.0T + 1107.4Sex	- 19.1E - 1731.2 (kJ/d)	21,1 (178,7)	0,12 (0,06)	0,064 -169,32 (103,29)	0,105 0,90 (0,85-0,93)
Schofield (P,T)-WHO 2001 ^{23,24}	7173 V y M (incluye niños)	P: 3-84 kg	18-30 años: 0.063P - 0.042T + 2.953 (MJ/d) 30-60 años: 0.048P - 0.011T + 3.67 (MJ/d) ≥= 60 años: 0.038P + 4.068T - 3.491 (MJ/d)	18-30 años: 0.057P + 1.148T + 0.411 (MJ/d) 30-60 años: 0.034P + 0.006T + 3.53 (MJ/d) >= 60 años: 0.033P + 1.917T + 0.074 (MJ/d)	107,6 (190,7)	0,31 (0,07)	≤0,001 (102,22)	≤0,001 0,82 (0,62-0,90)

En todos los casos seleccionados la medición del GER se realizó mediante calorimetría indirecta. Análisis estadístico del Bland Altman (R²: R² corregida; b: pendiente de la recta de regresión; a: intersección de la recta de regresión con el eje de Y; SEE: error standard; p: nivel de significación). Análisis de concordancia (CCI: coeficiente de correlación intraclase; IC 95%: intervalo de confianza al 95%; p: nivel de significación). IMC: índice de masa corporal (kg/m²); P: peso (kg); T: talla (cm); E: edad (años); Sex: sexo (V=1, M=0); MLG: masa libre de grasa (kg); MG: masa grasa (kg).

Tabla IV
Descripción del GER en la muestra

<i>GER (kcal/d)</i>	<i>Varones (n=45)</i>	<i>Mujeres (n=50)</i>	<i>TOTAL (n=95)</i>
Calorimetría Indirecta	1822,3 (224,3)	1379,3 (216,1)	1589,1 (312,0)
De Lorenzo	1720,7 (153,1)*	1374,9 (114,5)	1538,7 (218,9)*
Harris-Benedict	1628,7 (161,1)*	1320,3 (100,6)*	1446,3 (203,4)*
Korth	1799,6 (1625,1–2068,3)†	1338,4 (134,0)	1538,3 (1161,5–2015,4)†
Schofield	1667,6 (133,4)*	1314,0 (1163,9–1475,3)*,†	1402,6 (1178,5–1830,2)*,†
Cunningham	1740,7 (95,3)*	1387,9 (70,6) ¹	1515,2 (1310,9–1868,3)†

Resultados expresados como media (SD). †Mediana (p5–p95).
*p<0.05 calorimetría vs fórmula predictiva.

de De Lorenzo también incluyó sujetos con sobrepeso y obesidad.

La fórmula de Schofield¹⁶ tuvo un comportamiento razonablemente adecuado, con valores de CCI de 0,82 (0,62-0,90). A pesar de que este modelo se desarrolló a partir de una de las muestras de mayor tamaño, algunos autores critican su representatividad, ya que indican que contiene un desproporcionado número de sujetos italianos, y una escasa presencia de sujetos de origen tropical¹. En su trabajo Henry¹ indica que la fórmula de Schofield tiende a sobreestimar el gasto, dadas las características de la muestra utilizada para el desarrollo del modelo (que contenía un elevado número de sujetos con alto GER). Sin embargo, en nuestra muestra el modelo lo infraestima, igual que se ha documentado en otros estudios⁴⁷⁻⁵⁰.

La primera fórmula con reconocimiento internacional para la estimación del GER fue la de Harris-Benedict¹⁴. Sin embargo, aunque a día de hoy aún se puede considerar el modelo predictivo de mayor uso en la práctica clínica, la literatura pone en franca controversia su aplicación. Douglas⁵¹ o Parra-Carriedo¹³ documentaron que su eficacia puede verse afectada tanto por la etnia, como por la evolución ponderal del sujeto. Daly⁵² evidenció que en pacientes sanos puede llegar a sobreestimar el gasto entre un 10 y un 15%. Frankenfield¹⁵ observó que el modelo sobreestimaba el GER en la mayoría de los 25 estudios que analizó. Sin embargo, también se ha constatado que el valor del GER pronosticado con este modelo es menor que el gasto medido en entre un 7 y un 21% de los sujetos con normopeso y sobrepeso, y hasta en el 65% de los sujetos obesos¹⁵. Los resultados del presente estudio siguen esta última tendencia, ya que el modelo de Harris-Benedict, aunque presenta un comportamiento razonablemente adecuado, tal como indica el CCI, tiende a infraestimar el gasto de los sujetos evaluados.

Todos los modelos evaluados infraestimaron el GER, respecto al determinado por CI, lo que se contradice con la mayoría de los estudios publicados¹⁵. Sin embargo, esta tendencia también se ha observado en algunos trabajos^{20,48-50}. No es probable que estas di-

ferencias se deban a las características de la muestra estudiada, ya que, aunque la mayoría de los modelos se ha obtenido en sujetos sanos y con sobrepeso y obesidad, en nuestro estudio, como ya se ha comentado, se ha observado un porcentaje de masa grasa elevado. El calorímetro empleado en el presente trabajo es un calorímetro de mascarilla ampliamente utilizado en la literatura y para el que se ha demostrado una adecuada validez⁵³⁻⁵⁷. Se ha seguido estrictamente el protocolo recomendado por el fabricante. Sin embargo, algunos estudios han sugerido que la prolongación del tiempo de determinación podría mejorar la precisión y exactitud del GER medido, puesto que se ha visto que, con la mascarilla, los sujetos tienden a hiperventilar en los primeros minutos del registro^{1,58,59}; aunque otros autores no han observado diferencias en el GER determinado empleando un canopio o mascarilla^{58,60,61}.

Aplicando los criterios de inclusión y estadísticos definidos en el estudio no ha podido seleccionarse ninguna fórmula basada en variables de composición corporal. Por tanto, nuestros resultados indican que las ecuaciones que contienen el peso y/o la talla se comportan mejor para la estimación del GER. Se ha observado que, en los últimos años, se tiende a desarrollar ecuaciones de estimación del GER a partir de la MLG, puesto que, tal y como apuntan Nelson³⁹ y Mifflin³⁴, esta variable es uno de los mejores predictores del GER. Sin embargo, algunos autores²¹ evidencian que la técnica utilizada para determinar o estimar la composición corporal afecta tanto a la pendiente, como a la intersección de la recta de regresión de la asociación entre el GER y la MLG. Así, se ha observado que los modelos que no incluyen variables de composición corporal presentan menor variabilidad y, por tanto, mejor comportamiento²¹.

Aunque nuestros resultados respaldan la utilización de los modelos predictivos como una herramienta apropiada para la práctica diaria, el presente trabajo tiene algunas limitaciones. El tamaño muestral empleado fue suficiente para el estudio de concordancia, puesto que se calculó, pero la población analizada no puede considerarse representativa de la población

adulta sana española por el reducido tamaño muestral y la no aleatorización de los participantes. Por tanto, sería adecuado evaluar los modelos predictivos estudiados en una muestra de gran tamaño y representativa de la población sana española y comprobar la precisión en la determinación del GER por calorimetría indirecta aumentando el tiempo de registro. Este trabajo permitiría, además, desarrollar un modelo predictivo específico para la estimación del GER en esta población.

En conclusión, existen grandes variaciones en la estimación del gasto energético en reposo en función del modelo predictivo empleado. La ecuación de Korth puede ser un método adecuado para la estimación del GER en sujetos adultos sanos, aunque las fórmulas de Schofield y Harris-Benedict, ampliamente utilizadas, y la de De-Lorenzo, también han presentado un comportamiento aceptable. Los modelos de estimación del GER que incluyen variables como el sexo, la edad, el peso y/o la talla se comportan mejor en la predicción del GER en la población sana española evaluada que las que contienen variables de composición corporal.

Agradecimientos

El equipo investigador agradece su colaboración a todos los voluntarios que han participado en el estudio.

Referencias

- Henry CJK. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition*. 2005 Oct;8(7A):1133-52.
- Pinheiro Volp AC, Esteves de Oliveira FC, Duarte Moreira Alves R, Esteves EA, Bressan J. Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutricion hospitalaria*. 2011 2011;26(3):430-40.
- Ahima RS. Principles of Human Energy Metabolism. In: Galgani J, Ravoussin E, editors. *Principles of Human Energy Metabolism*. New York (USA): Springer; 2011; pp:1-24.
- Cunningham JJ. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. *Am J Clin Nutr*. 1991 Dec;54(6):963-9.
- Figueroa-Colon R, Franklin FA, Goran MI, Lee JY, Weinsier RL. Reproducibility of measurement of resting energy expenditure in prepubertal girls. *Am J Clin Nutr*. 1996 Oct;64(4):533-6.
- Human energy requirements: report of a joint FAO/ WHO/ UNU Expert Consultation. *Food and nutrition bulletin*. 2005; 26(1):166-.
- Feurer I, Mullen JL. Bedside Measurement of Resting Energy Expenditure and Respiratory Quotient via Indirect Calorimetry. *Nutrition in Clinical Practice*. 1986;1(1):43-9.
- Berke EM, Gardner AW, Goran MI, Poehlman ET. Resting metabolic rate and the influence of the pretesting environment. *Am J Clin Nutr*. 1992 Mar;55(3):626-9.
- Haugen HA, Chan LN, Li F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutr Clin Pract*. 2007 Aug;22(4):377-88.
- Esteves de Oliveira FC, de Mello Cruz AC, Goncalves Oliveira C, Rodrigues Ferreira Cruz AC, Mayumi Nakajima V, Bressan J. Energy expenditure of healthy Brazilian adults: a comparison of methods. *Nutricion hospitalaria*. 2008 2008;23(6):554-61.
- Weekes CE. Controversies in the determination of energy requirements. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2007 Aug;66(3):367-77.
- Foster GD, Wadden TA, Vogt RA. Resting energy expenditure in obese African American and Caucasian women. *Obes Res*. 1997 Jan;5(1):1-8.
- Parra-Carrido A, Cherem-Cherem L, Galindo-De Noriega D, Díaz-Gutiérrez MC, Pérez-Lizaur AB, Hernández-Guerrero 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. *Nutricion Hospitalaria*. 2013;28:357-64.
- Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1918 Dec;4(12):370-3. PubMed PMID: 16576330.
- Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C, Evidence Anal Working G. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: A systematic review. *Journal of the American Dietetic Association*. 2005 May;105(5):775-89.
- Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985;39 Suppl 1:5-41.
- Johnstone AM, Murison SD, Duncan JS, Rance KA, Speakman JR. Factors influencing variation in basal metabolic rate include fat-free mass, fat mass, age, and circulating thyroxine but not sex, circulating leptin, or triiodothyronine. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2005 Nov;82(5):941-8.
- Lukaski HC, Bolonchuk WW. ESTIMATION OF BODY-FLUID VOLUMES USING TETRAPOLAR BIOELECTRICAL IMPEDANCE MEASUREMENTS. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 1988 Dec;59(12):1163-9.
- Fleiss JL, Levin B, Paik MC. *Statistical Methods for Rates and Proportions*. 3 ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.; 2003 5 JAN 2004. 604 p.
- De Lorenzo A, Tagliabue A, Andreoli A, Testolin G, Comelli M, Deurenberg P. Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18-59 y. *Eur J Clin Nutr*. 2001 Mar;55(3):208-14.
- Korth O, Bösby-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):582-9.
- Bernstein RS, Thornton JC, Yang MU, Wang J, Redmond AM, Pierson RN, et al. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. *Am J Clin Nutr*. 1983 Apr;37(4):595-602.
- Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr*. 1980 Nov;33(11):2372-4.
- Elia M. Organ and tissue contribution to metabolic rate. In: Kinney J, Tucker H, editors. *Energy Metabolism: Tissue determinants and cellular corollaries*. New York: Raven; 1992. p. 61-80.
- Garby L, Garrow JS, Jorgensen B, Lammert O, Madsen K, Sorensen P, et al. Relation between energy expenditure and body composition in man: specific energy expenditure in vivo of fat and fat-free tissue. *Eur J Clin Nutr*. 1988 Apr;42(4):301-5.
- Garrow JS, Webster J. Are pre-obese people energy thrifty? *Lancet*. 1985 Mar;1(8430):670-1.
- Heshka S, Yang MU, Wang J, Burt P, Pi-Sunyer FX. Weight loss and change in resting metabolic rate. *Am J Clin Nutr*. 1990 Dec;52(6):981-6.
- Jensen MD, Braun JS, Vetter RJ, Marsh HM. Measurement of body potassium with a whole-body counter: relationship between lean body mass and resting energy expenditure. *Mayo Clin Proc*. 1988 Sep;63(9):864-8.
- Johnstone AM, Rance KA, Murison SD, Duncan JS, Speakman JR. Additional anthropometric measures may improve the predictability of basal metabolic rate in adult subjects. *Eur J Clin Nutr*. 2006 Dec;60(12):1437-44.
- Kashiwazaki H, Suzuki T, Inaoka T. Postprandial resting metabolic rate and body composition in the moderately obese and normal-weight adult subjects at sitting posture. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 1988 Aug;34(4):399-411.
- Liu B, Woo J, Tang N, Ng K, Ip R, Yu A. Assessment of total energy expenditure in a Chinese population by a physical

- activity questionnaire: examination of validity. *Int J Food Sci Nutr*. 2001 May;52(3):269-82.
32. Livingston EH, Kohlstadt I. Simplified resting metabolic rate-predicting formulas for normal-sized and obese individuals. *Obes Res*. 2005 Jul;13(7):1255-62.
 33. Luke A, Schoeller DA. Basal metabolic rate, fat-free mass, and body cell mass during energy restriction. *Metabolism*. 1992 Apr;41(4):450-6.
 34. 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):241-7.
 35. McNeill G, Rivers JP, Payne PR, de Britto JJ, Abel R. Basal metabolic rate of Indian men: no evidence of metabolic adaptation to a low plane of nutrition. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1987 Nov;41(6):473-83.
 36. Müller MJ, Bösby-Westphal A, Klaus S, Kreymann G, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M, et al. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr*. 2004 Nov;80(5):1379-90.
 37. Owen OE, Kavle E, Owen RS, Polansky M, Caprio S, Mozzoli MA, et al. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *Am J Clin Nutr*. 1986 Jul;44(1):1-19.
 38. Owen OE, Holup JL, D'Alessio DA, Craig ES, Polansky M, Smalley KJ, et al. A reappraisal of the caloric requirements of men. *Am J Clin Nutr*. 1987 Dec;46(6):875-85.
 39. Nelson KM, Weinsier RL, Long CL, Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *Am J Clin Nutr*. 1992 Nov;56(5):848-56.
 40. Siervo M, Boschi V, Falconi C. Which REE prediction equation should we use in normal-weight, overweight and obese women? *Clin Nutr*. 2003 Apr;22(2):193-204.
 41. Vander Weg MW, Watson JM, Klesges RC, Eck Clemens LH, Slawson DL, McClanahan BS. Development and cross-validation of a prediction equation for estimating resting energy expenditure in healthy African-American and European-American women. *Eur J Clin Nutr*. 2004 Mar;58(3):474-80.
 42. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organization technical report series. 1985 1985;724:1-206.
 43. Ravussin E, Burnand B, Schutz Y, Jéquier E. Twenty-four-hour energy expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects. *Am J Clin Nutr*. 1982 Mar;35(3):566-73.
 44. Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, Christin L, Bogardus C. DETERMINANTS OF 24-HOUR ENERGY-EXPENDITURE IN MAN - METHODS AND RESULTS USING A RESPIRATORY CHAMBER. *Journal of Clinical Investigation*. 1986 Dec;78(6):1568-78.
 45. Ravussin E, Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr*. 1989 May;49(5 Suppl):968-75.
 46. van der Ploeg GE, Withers RT. Predicting the resting metabolic rate of 30-60-year-old Australian males. *Eur J Clin Nutr*. 2002 Aug;56(8):701-8.
 47. DeLorenzo A, Andreoli A, Matthie J, Withers P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review (vol 82, pg 1542, 1997). *Journal of Applied Physiology*. 1997 Dec;83(6):CP4-CP.
 48. Shaneshin M, Rezazadeh A, Jessri M, Neyestani T, Rashidkhani B. Validity of predictive equations for resting energy expenditure among Iranian women. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2011;20(4):646-53.
 49. Arciero PJ, Goran MI, Gardner AW, Ades PA, Tyzbir RS, Poehlman ET. A practical equation to predict resting metabolic rate in older men. *Metabolism*. 1993 Aug;42(8):950-7.
 50. Arciero PJ, Goran MI, Gardner AM, Ades PA, Tyzbir RS, Poehlman ET. A practical equation to predict resting metabolic rate in older females. *J Am Geriatr Soc*. 1993 Apr;41(4):389-95.
 51. Douglas CC, Lawrence JC, Bush NC, Oster RA, Gower BA, Darnell BE. Ability of the Harris-Benedict formula to predict energy requirements differs with weight history and ethnicity. *Nutrition Research*. 2007 Apr;27(4):194-9.
 52. Daly JM, Heymsfield SB, Head CA, Harvey LP, Nixon DW, Katzeff H, et al. HUMAN ENERGY-REQUIREMENTS - OVERESTIMATION BY WIDELY USED PREDICTION EQUATION. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1985 1985;42(6):1170-4.
 53. Lupinsky L, Singer P, Theilla M, Grinev M, Hirsh R, Lev S, et al. Comparison between two metabolic monitors in the measurement of resting energy expenditure and oxygen consumption in diabetic and non-diabetic ambulatory and hospitalized patients. *Nutrition*. 2015 Jan;31(1):176-9.
 54. Vandarakis D, Salacinski AJ, Broeder CE. A comparison of COSMED metabolic systems for the determination of resting metabolic rate. *Res Sports Med*. 2013;21(2):187-94.
 55. Langius JA, Steensma A, Kaloter CX, Groen PM, Vlieland FM, Visser WA, et al. PP177-SUN: Portable Indirect Calorimetry for Estimating Resting Metabolic Rate both Reliable and Feasible in Community Dietetics. *Clinical Nutrition*. 33:S86.
 56. El Ghoch M, Alberti M, Capelli C, Calugi S, Battistini NC, Pellegrini M, et al. Resting energy expenditure assessment in anorexia nervosa: comparison of indirect calorimetry, a multi-sensor monitor and the Muller equation. *Int J Food Sci Nutr*. 2012 Nov;63(7):796-801.
 57. Franchini E, de Moraes Bertuzzi RC, Takito MY, Kiss MA. Effects of recovery type after a judo match on blood lactate and performance in specific and non-specific judo tasks. *Eur J Appl Physiol*. 2009 Nov;107(4):377-83.
 58. Isbell TR, Klesges RC, Meyers AW, Klesges LM. Measurement reliability and reactivity using repeated measurements of resting energy expenditure with a face mask, mouthpiece, and ventilated canopy. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 1991 Mar-Apr;15(2):165-8.
 59. Hagedorn T, Savina C, Coletti C, Paolini M, Scavone L, Neri B, et al. Calorimetry in obese women: comparison of two different operating indirect calorimeters together with the predictive equation of Harris and Benedict. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. 2011 2011/08/01;4(2):117-25. English.
 60. McAnena OJ, Harvey LP, Katzeff HL, Daly JM. Indirect calorimetry: comparison of hood and mask systems for measuring resting energy expenditure in healthy volunteers. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 1986 Nov-Dec;10(6):555-7.
 61. Segal KR. Comparison of indirect calorimetric measurements of resting energy expenditure with a ventilated hood, face mask, and mouthpiece. *Am J Clin Nutr*. 1987 Jun;45(6):1420-3.