

Revista de Endocrinología y Nutrición

Volumen 10
Volume

Número 1
Number




Enero-Marzo 2002
January-March

Artículo:




Utilidad Clínica del tamaño metabólico

Derechos reservados, Copyright © 2002:
Sociedad Mexicana de Nutrición y Endocrinología, AC

Otras secciones de
este sitio:

-  [Índice de este número](#)
-  [Más revistas](#)
-  [Búsqueda](#)

Others sections in
this web site:

-  [Contents of this number](#)
-  [More journals](#)
-  [Search](#)



www.medigraphic.com



Artículo de revisión

Utilidad clínica del tamaño metabólico

Guillermo Meléndez*

* Bristol Myers Squibb

Correspondencia:
Dr. Guillermo Meléndez
Av. Revolución 1267
Colonia Tlacopac CP 01040
México D.F.
Tel. (52) 53 37 28 97
Fax (52) 56 51 48 97
Correo electrónico
guillermo.melendez@bms.com

Fecha de recepción: 11-Febrero-2002

Fecha de aceptación: 12-Marzo-2002

Resumen

La introducción de nutrición artificial a la clínica dio avances tecnológicos muy importantes en el área durante los últimos 30 años. La aportación parenteral de sustratos energéticos ha salvado la vida de pacientes que en otras circunstancias hubieran fallecido por inanición y desnutrición. Sin embargo, los métodos que seguimos para estimar requerimientos energéticos de los enfermos no han cambiado y a la fecha continuamos utilizando ecuaciones de 82 años de edad. Las nuevas generaciones de nutriólogos ignoran el origen de funciones tan populares como las de Harris y Benedict y las aceptan sin cuestionamiento alguno, ignorando que existen ecuaciones alternativas para el cálculo del metabolismo basal, que incluyen el tamaño metabólico, que pueden tener un comportamiento más fisiológico y una precisión mayor, particularmente en sujetos con estatura y peso bajos.

Esta revisión es una breve antología sobre el origen de las ecuaciones para estimar la superficie corporal, la relación alométrica de gasto energético en animales homeotérmicos, conocida como tamaño metabólico, y el gasto energético basal; todos éstos son conceptos que están muy ligados entre sí y representan los fundamentos de las estimaciones de requerimientos energéticos, que son parte de nuestra práctica diaria cuando nos enfrentamos a pacientes con diversas patologías nutricionales.

Palabras clave: Tamaño metabólico, área de superficie corporal, alometría, gasto energético basal.
Revista de Endocrinología y Nutrición 2002; 10(1) Enero-Marzo. 21-26.

Abstract

Advent of artificial nutrition into clinical settings during the past 30 years has impelled development of important new technologies. Use of parenteral paths for infusing energy substrates has saved lives whose otherwise would have died as consequence of starvation and malnutrition. However, methods currently in use for calculating patients' energy requirements have not changed and at present we are still applying equations 82 years old. New generations of nutritionists are not aware of where these popular equations, such as the Harris-Benedict, were derived from and simply adopt them without a question, ignoring that there exist alternative methods for calculating basal energy expenditure, with functions including metabolic size, which have better physiologic modeling and precision, particularly in low weight, low height individuals.

The present review is a brief description of events about the origins and evolution of functions for calculating surface area, the allometric relation of energy expenditure among homeothermic animals, better known as metabolic size and basal energy expenditure; all these concepts are intimately related among each other and represent the fundamentals for energy requirement estimates, which is part of our current practice at the time we deal with patients bearing different nutritional pathologies.

Key words: Metabolic size, body surface area, allometry, basal energy expenditure.
Revista de Endocrinología y Nutrición 2002; 10(1) Enero-Marzo. 21-26.

INTRODUCCIÓN

En nuestros días el uso de nutrición artificial es una práctica de rutina. Diversas especialidades se enfrentan a la estimación de requerimientos energéticos en pacientes que cursan con patologías asociadas a mayores demandas de

energía, complicaciones quirúrgicas o simplemente desnutrición. La utilidad de las ecuaciones de Harris-Benedict como base de la estimación de requerimiento energético ha sido de valor incalculable, sin embargo, vemos con sorpresa, que se han transportado a condiciones que no fueron las que Harris y Benedict describieron originalmente. Esto res-

ponde a que se desconocen o no se han tomado en cuenta los orígenes de tamaño metabólico, superficie corporal, alometría del gasto energético, y requerimiento energético, que son conceptos que han ocupado a muchos investigadores en los últimos 200 años.

El interés por estudiar la asociación entre el tamaño corporal y el gasto energético en diferentes especies tuvo un auge importante durante los siglos XIX y XX, en épocas en que la tecnología para el análisis de composición corporal era rudimentaria,¹ la calorimetría veía su mejor momento por los diseños de aparatos sofisticados que se instalaban en los principales centros de investigación² y la estadística aplicada a biología se enriquecía por las aportaciones de Galton, Yule, Pearson³ y Fischer en Inglaterra.⁴

Desde entonces se tenía noción teórica de que el gasto energético de un ser humano es mayor que el de un ratón y menor que el de un caballo o un elefante; ya que suponían que conforme aumenta el tamaño de un ser vivo homeotérmico, produce más calor por día; sin embargo, cuando la producción de calor se expresa por unidad de peso (por ejemplo, por kg de peso), los animales más pequeños producen más calor por unidad de peso que los grandes animales. Las evidencias empíricas demostraron que el metabolismo de organismos con una conformación física más o menos similar, tenía una correlación positiva con su tamaño corporal, pero cuando se tomaba en cuenta la unidad de peso, la correlación era negativa.⁵

Esto originó una gran inquietud entre la comunidad científica, quien se dio a la tarea de buscar una expresión matemática que explicara la pérdida de calor para diferentes volúmenes de masa metabólicamente activa, encontrando que la superficie corporal era un candidato, ya que debería guardar una proporción con el volumen para la pérdida de calor.²

El primer autor en proponer la tesis de que la producción de calor es proporcional a la superficie corporal fue Richet en 1889. Sin embargo, los trabajos de Richet no fueron seguidos por una evidencia experimental contundente. Basado en las consideraciones teóricas de Richet y Bergmann, Muntz realiza una serie de experimentos que dan clara idea de la relación entre metabolismo y superficie corporal.² Pero fue Max Rubner en Alemania, quien en realidad integró toda la información acumulada hasta esa fecha, y mediante sus experimentos estableció que la pérdida de calor de los organismos vivos es esencialmente constante por unidad de superficie corporal.⁶

A partir de los trabajos de Rubner, el metabolismo en el hombre y el de animales de diferentes tamaños, se expresó en kilocalorías/metro cuadrado de superficie corporal. Fue tal la influencia de sus conceptos, que autores posteriores omitían con frecuencia los datos de peso y estatura o longitud y se limitaban a publicar los resultados en unidades de superficie corporal.⁵

Experimentos de otros autores empezaron a encontrar dificultades para que algunas especies siguieran la ley de superficie y empezaron a notar inconsistencias en la relación entre superficie corporal y metabolismo; una dificultad mayor con la que se enfrentaron fue de tipo técnico, el método para estimar la superficie corporal se basaba en la fórmula propuesta por Meeh $h = k \times W^{2/3}$, sin embargo el valor de la constante k en la fórmula de Meeh no era en realidad una constante y su valor podía variar de una especie a otra, o incluso variar entre varios grupos de sujetos de la misma especie. Al no contar con una constante para todas las especies, las variaciones que se encontraron fueron enormes e imposibles de comparar.

No obstante las imprecisiones en el cálculo de superficie corporal, Rubner dedujo una regla simple que proponía que animales homeotérmicos en ayuno, producen 1,000 kcls por metro cuadrado de superficie corporal por día.⁵ Los valores más conocidos sobre el gasto energético por superficie corporal fueron publicados posteriormente por uno de sus alumnos, E. Voit, en 1901. Al revisar los datos publicados por Voit se encuentra que la producción calórica del conejo fue solamente de 776 kcal/m², por lo que se tuvo que sustraer la superficie de las orejas, para que el valor final estuviera más acorde con el resto de las especies.⁷

Ahora sabemos que el tamaño y la forma de los organismos vivos juegan un papel importante en su interacción con el medio ambiente. De estos dos factores va a depender la pérdida de calor mediante los efectos de radiación, conducción y convección. Si consideramos que los animales homeotérmicos están recubiertos por una capa dérmica, ésta marca un límite entre el medio ambiente y el propio organismo, siendo el área de superficie la de contacto con el medio. Los cambios en el volumen de un determinado organismo van a modificar el área de superficie y de esa manera la capacidad de transferencia de calor.⁹

Aunque existe una relación entre superficie y volumen corporal, el incremento no es lineal, ya que al doblar la longitud o estatura (L) de un sujeto, su superficie corporal se eleva a una potencia al cuadrado (L^2) y su volumen se eleva a una potencia cúbica (L^3). A mayor volumen, va a existir una proporción menor del área de superficie.⁶ Si tenemos un niño con una longitud al nacer de 45 cm, esperaríamos una superficie de 2,025 cm² y un volumen de 91,125 cm³, pero a los 2 años y medio, con 90 cm, ha doblado su estatura, su superficie corporal es de 8,100 cm² y su volumen de 729,000 cm³. La relación superficie/volumen a los 90 cm es la mitad de la relación que había a los 45 cm.

El cálculo de superficie corporal ha sido objeto de grandes discusiones en la historia del metabolismo. Al ser evidente la inconsistencia de algunas especies en la relación entre superficie y metabolismo, los fisiólogos se dieron a la

tarea de buscar nuevas ecuaciones que se ajustaran con mayor bondad al cálculo de superficie corporal. Aparecieron desde el peso elevado a una potencia ^{2/3}, (W^{2/3}), hasta otras más complejas, que se demostró que eran dimensionalmente incorrectas, como las propuestas por Moulton y Ritzman y Benedict.¹ Finalmente, se llegó a la ecuación propuesta por DuBois y DuBois,² que ha demostrado ser la de mayor precisión en el cálculo de superficie corporal en el ser humano, pero sin ninguna aplicación en animales:

Cuadro I. Medición de metabolismo en diferentes especies, expresada en kcal/kg y kcal/m².

Animal	Número de determinaciones	Peso promedio (kg)	Ley de superficie corporal de Voit Kilocalorías por día	
			Por kg	Por m ²
Caballo	8	441	11.3	948
Cerdo	2	128	19.1	1078
Hombre	5	64.3	32.1	1042
Perro	15	15.2	51.5	1039
Conejo	5	2.3	75.1	776 (917)*
Ganso	6	3.5	66.7	1018
Gallina	2	2.0	71.0	1008

Tabla modificada de Blaxter K.⁷
* El valor en el paréntesis es el valor después de sustraer el área de superficie de las orejas del conejo.
Las mediciones de gasto energético por unidad superficie corporal hechas por E. Voit a principios del siglo pasado, mostraban que algunas especies no se adaptaban a la ley de superficie, un ejemplo claro fue el conejo, una especie a la que se le tuvo que sustraer la superficie de las orejas para que encajara en los valores esperados.

Cuadro II. Ecuaciones para calcular superficie corporal en diferentes especies.

Especie	Ecuación predictiva	Método de medición del área de superficie	Autor
Ratón	$S_{cm2} = 15.18 W^{0.458} g$	Molde	Smuts ⁸
Rata	$S_{cm2} = 12.54 W^{0.60} g$	Cubierta	Lee ⁸
Cobayo	$S_{cm2} = 9.85 W^{0.64} g$	Medición linear	Kiblerg ⁸
Pollo	$S_{cm2} = 8.19 W^{0.705} g$	Molde	Mitchell ⁸
Pavo	$S_{cm2} = 12.14 W^{0.67} g$	Molde	Mitchell ⁸
Conejo	$S_{cm2} = 56.33 W^{0.436} g$	Molde	Smuts ⁸
Mono	$S_{cm2} = 11.7 W^{0.67} g$	Superficie de piel	Lee & Fox ⁸
Borrego	$S_{cm2} = 8.50 W^{0.67} kg$	Integración de superficie	Mitchell ⁸
Cisne	$S_{cm2} = 0.097 W^{0.633} kg$	Integración de superficie	Brody ⁸
Hombre	$S_{cm2} = 0.176 W^{0.545} kg$	Integración de superficie	Brody ⁸
Vaca	$S_{cm2} = 0.133 W^{0.556} kg$	Integración de superficie	Brody ⁸
Caballo	$S_{cm2} = 0.100 W^{0.63} kg$	Integración de superficie	Brody ⁸

A principios del siglo XX, se originó una diversidad de términos para calcular la superficie corporal de diferentes especies; los métodos de medición empleados para después llegar a la ecuación algebraica reflejaban la imaginación de los autores.

$S = 71.84 \times W^{0.425} \times L^{0.725}$

Donde

- S = superficie corporal en cm²,
- W = peso en kg
- L = estatura en cm

A principios del siglo XX, la moda de estimación de superficie corporal derivó en un número significativo de ecuaciones que se adecuaban para cada especie que se estudiaba, aplicando diferentes métodos de medición de la superficie corporal. En el *cuadro II* se muestran algunos ejemplos de ecuaciones para el cálculo de superficie corporal en diferentes especies y los métodos por los cuales se llegó a ellas, este cuadro da una idea de la inconsistencia que se alcanzó en el concepto de superficie corporal a principios del siglo pasado, es probable que tal variación en los métodos haya inducido al desuso de la superficie corporal.⁹

La única ecuación para el cálculo de superficie corporal que ganó aceptación fue la propuesta por DuBois y DuBois, y es la que se utiliza con mayor frecuencia en la práctica médica actual, particularmente en oncología, donde las dosis de citostáticos se calculan por unidad de superficie corporal, pero la utilización de esta ecuación para la estimación de pérdida de calor, que fue el motivo de su origen, fue cayendo en desuso.

Las investigaciones sobre metabolismo basal continuaron, pero ahora en sujetos que eran sometidos a cambios ambientales o a inaniciones prolongadas. Cuando las condiciones internas o externas de los individuos se modificaban, y ante una pérdida del volumen corporal, la ley de superficie no explicaba los cambios que ocurrían en el metabolismo basal de estos individuos.⁵

Los trabajos de Harris y Benedict² sobre metabolismo basal en el hombre fueron publicados en 1919, ellos dieron un mayor impulso a las mediciones metabólicas en el ser humano. Harris-Benedict propusieron dos ecuaciones empíricas que permitían estimar el metabolismo basal en el hombre y en la mujer a partir de 3 variables comunes, peso, talla y edad. Sus predicciones se basaron en mediciones seriadas de calorimetría en 249 sujetos adultos maduros con edades entre 20 y 50 años y calculando las constantes mediante un procedimiento de regresión; este método había sido una aportación reciente de Sir Francis Galton al estudio en biología.³

Para el hombre

$$h = 66.473 + 13.7516W + 5.0033S - 6.7750A$$

Para la mujer

$$h = 655.0955 + 9.5634W + 1.8496S - 4.6756A$$

Donde

h = producción total de calor en kcal por día,
W = peso en kilogramos
S = estatura en centímetros
A = edad en años.

El valor negativo del tercer término de la ecuación está en relación con una reducción del metabolismo basal conforme se avanza en edad. Estos autores establecen por primera vez los valores de referencia para metabolismo basal en el hombre y al mismo tiempo analizan las variaciones inter-individuo y las de errores sistemáticos introducidos por el observador.²

En la actualidad, las ecuaciones de Harris-Benedict,² tienen un amplio uso en el cálculo de requerimientos energéticos en pacientes que son sometidos a nutrición artificial, es de interés saber que estas ecuaciones fueron cuestionadas por Krogh en dos puntos: 1. si se elimina de la ecuación el término correspondiente al peso, el metabolismo basal de una mujer resultaría 10 veces mayor al del hombre y 2. el metabolismo basal en las ecuaciones de Harris-Benedict es la suma de funciones lineales de peso, estatura y edad, y que el comportamiento fisiológico no necesariamente es lineal, sino que puede tener otro tipo de comportamiento matemático.⁵

Después de las nuevas evidencias sobre la falta de correlación entre las mediciones de metabolismo y superficie corporal, se buscaron nuevas directrices de correlación. La frecuencia en las desviaciones de los resultados empíricos de la ley de superficie corporal justificó la búsqueda de una función de tamaño corporal que fuera más proporcional al metabolismo de los sujetos en estudio.

Max Kleiber fue un fisiólogo visionario que demostró la relación lineal entre el tamaño de diferentes especies y su metabolismo. Al graficar el logaritmo de metabolismo en ayuno contra el logaritmo del peso de diferentes especies, se encontró con sorpresa que, efectivamente, hay una relación lineal entre las dos variables y que el coeficiente de variación sobre el promedio era tan sólo del 7%, deduciendo entonces que, al existir una relación lineal entre los logaritmos de peso y metabolismo, el metabolismo debería ser proporcional al peso elevado a un exponente dado.⁵

El exponente que mejor se ajustaba a una línea recta fue el peso elevado a una potencia $3/4$ ó 0.75 . Cuando se eleva el peso de diferentes especies a esta potencia fraccionada, el gasto energético se vuelve constante a 70 kcal por unidad de peso al poder 0.75. Desde entonces entendemos el tamaño metabólico como el valor del gasto energético expresado por el peso elevado a una potencia 0.75 (una potencia fraccionada).

A partir de la demostración empírica de Kleiber⁵ sobre la relación equivalente de gasto energético de 70 kcal/W^{0.75} en los animales homeotérmicos, la ciencia de la alometría encontró sus fundamentos y ha tenido un desarrollo que va más allá del metabolismo, explorando nuevas funciones fisiológicas y relaciones anatómicas.^{9,10}

La alometría es la ciencia que se encarga del análisis de los cambios que ocurren en funciones fisiológicas conforme aumenta el tamaño corporal en diferentes especies o en diferentes géneros de una misma especie. Se encarga del estudio de funciones fisiológicas inter-especies. En realidad la mayoría de las funciones fisiológicas de los seres vivos se adaptan a una ecuación que describe la relación entre tamaño corporal y la intensidad en la que ocurre un proceso, el ejemplo clásico y que más se ha estudiado ha sido el del metabolismo.⁹

El origen de la ecuación alométrica se fundamenta en que el $\log Y = \log a + b \log W$. Esta ecuación alométrica se representa de la manera siguiente $Y = aW^b$.

Donde Y es la intensidad con que ocurre la función fisiológica, W es la medida de tamaño corporal, b es una constante alométrica y a es un factor de escala. Algunas funciones fisiológicas aumentan conforme se aumenta el tamaño corporal (es el caso del metabolismo basal), otras funciones fisiológicas disminuyen conforme se aumenta el tamaño corporal (como ocurre con la frecuencia cardíaca) y otras funciones pueden no tener ninguna relación con el tamaño corporal.

La ecuación que se describe previamente, tiene la propiedad de manejar todas estas variantes mediante la constante alométrica b . Cuando la constante es positiva (mayor que 0), el tamaño corporal y la intensidad de la función fisiológica correlacionan positivamente. Cuando la constante b de la ecuación es negativa, el tamaño corpo-

ral y la función fisiológica correlacionan negativamente y finalmente, cuando la constante alométrica es igual a 1, existe una relación lineal entre el tamaño corporal y la función fisiológica que se está estudiando.

Los seres vivos que mantienen una existencia independiente, se encuentran en la naturaleza en una amplia variedad de tamaños. Los organismos unicelulares más pequeños pueden variar su peso desde 10^{-15} kg hasta 10^{-6} kg. Por otro lado, los organismos pluricelulares, que por lo general tienen tamaños mayores que los unicelulares, van a tener dimensiones que oscilan entre los límites de 10^{-8} kg y 10^5 kg.¹¹

No podemos pensar que los organismos más grandes sean una versión amplificada de los pequeños, el diseño del cuerpo de cada uno de estos seres vivos cambia radicalmente conforme modifica su tamaño, y si observamos, en un rango de tamaño medio, por ejemplo, entre 10^{-7} y 10^2 kg, la naturaleza ha dotado a diferentes especies con una gran variedad de tipos de diseño corporal que han sido lo suficientemente eficientes para que, aun siendo muchas especies de tamaño similar, han optimizado su capacidad competitiva a lo largo de millones de años y han podido sobrevivir.

Una limitación de las ecuaciones alométricas es que ajustan la relación que existe en funciones fisiológicas entre individuos de diferentes especies,¹¹ sin ahondar en las variaciones intra-individuales; esta limitación del concepto no deja espacio para la pregunta sobre dónde están los valores de referencia para una misma especie. El advenimiento de las estadísticas, particularmente con observaciones obtenidas en serie, pudo dar respuesta a las variaciones intra-individuales y al mismo tiempo establecer valores de referencia. De aquí deriva la popularidad de las ecuaciones de Harris y Benedict que dan un valor de referencia para metabolismo basal.²

Kleiber, en un afán de demostrar la utilidad del término $W^{0.75}$ más allá de la relación inter-especie, analizó los datos originales de Harris-Benedict, y derivó nuevas ecuaciones, basadas en este mismo término, para calcular metabolismo basal.⁵

Hombres

$$M = 71.2 \times W^{3/4} [1 + 0.004 (30 - a) + 0.018 (s - 43.4)]$$

Mujeres

$$M = 65.8 \times W^{3/4} [1 + 0.004 (30 - a) + 0.018 (s - 42.1)]$$

Para validar la propuesta de Kleiber, hemos recurrido a las mediciones calorimétricas que se han llevado a cabo en pacientes del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán". Los datos que se presentan en la figura 1, corresponden a 105 pacientes pertenecientes al Servicio de Nutriología Clínica, a quienes se les midió me-

tabolismo en reposo durante su hospitalización. A cada sujeto se le estimó el metabolismo basal mediante la ecuación de Harris-Benedict y mediante la ecuación de Kleiber.

La correlación que encontramos entre las dos ecuaciones es $r = 0.98$, (Figura 1) que equivale a 96% de la variación. Sin embargo, la ecuación de Kleiber ($r = 0.64$) mostró una correlación ligeramente mayor que la ecuación de Harris-Benedict ($r = 0.60$), cuando se probó su asociación con la calorimetría real. En nuestros datos, la ecuación de Kleiber mostró una mayor asociación a los valores reales de calorimetría, medidos en condiciones de rutina en pacientes hospitalizados por algún padecimiento. En la figura 2 podemos apreciar que Harris-Benedict sobreestima el gasto energético basal en los valores inferiores.

CONCLUSIONES

Aplicaciones clínicas de las estimaciones de gasto energético.

Con la introducción de la nutrición parenteral total a la clínica, en los últimos 30 años ha habido avances tecnológicos muy importantes en la materia. La calidad de sustratos que se le administran al paciente ha mejorado significativamente, se han desarrollado nuevos materiales para catéteres que permiten su permanencia sin complicaciones y por tiempos más prolongados, existen nuevos métodos diagnósticos que identifican deficiencias de elementos o incluso contamos con instrumentos que permiten la infusión constante y precisa de los nutrientes.

Sin embargo, al mismo tiempo que vemos el avance tecnológico en los suministros, la forma en que se estiman los requerimientos energéticos no ha cambiado y en la práctica diaria seguimos utilizando las mismas fórmulas que a la

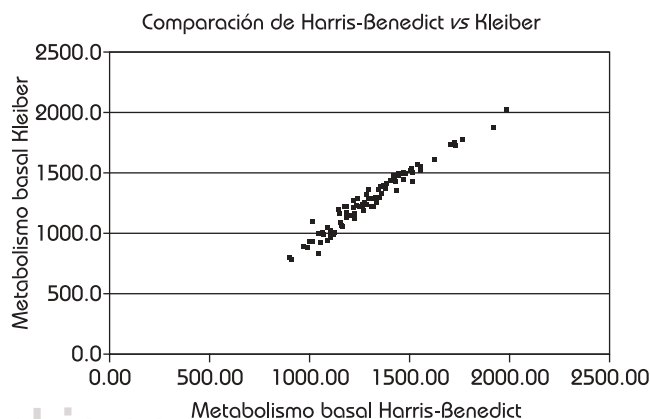


Figura 1. La correlación entre los valores estimados por las ecuaciones de Kleiber y de Harris-Benedict corresponde a una $r = 0.98$, lo que explica el 96% de la asociación. Es importante recordar que las ecuaciones de Kleiber tienen un término donde incluye el peso elevado a una potencia 0.75 ($W^{0.75}$) y no se derivan de regresión lineal como es el caso de Harris-Benedict.

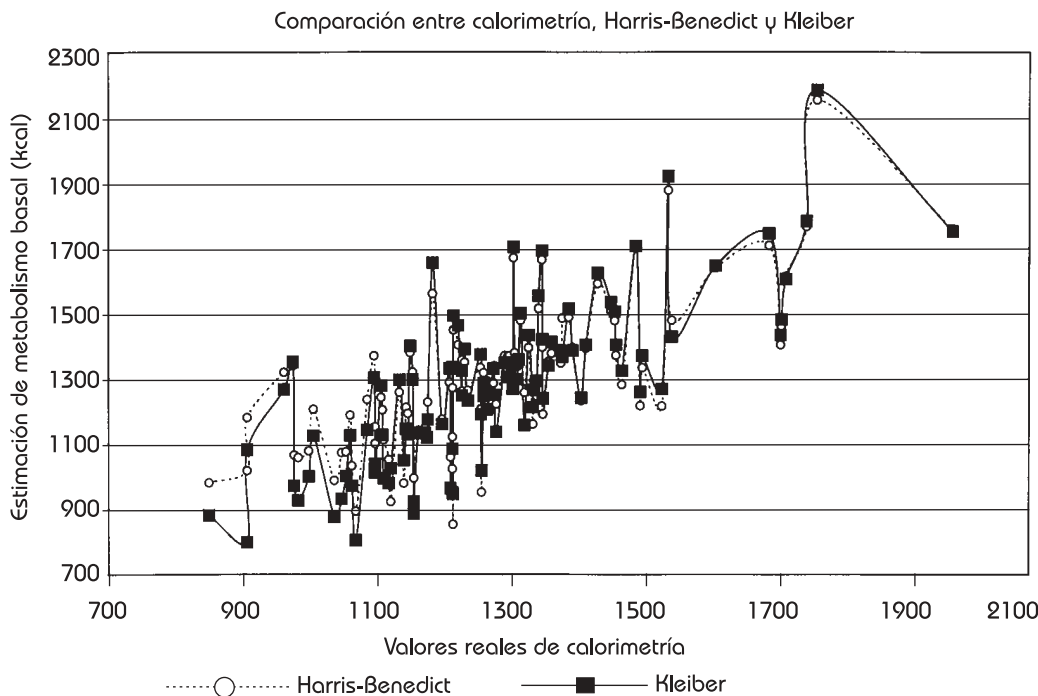


Figura 2. La mayor diferencia en la estimación de gasto energético basal con las ecuaciones de Kleiber y Harris-Benedict la encontramos en los valores inferiores de calorimetría real, en la figura podemos apreciar que los valores estimados con las ecuaciones de Harris-Benedict son superiores a los de Kleiber en un inicio, para después unificarse.

fecha tienen 82 años de edad, y que nadie se cuestiona ni sobre su origen ni sobre su aplicación y veracidad.

Si bien es cierto que la evaluación del metabolismo basal en cualquier individuo requiere la comparación con valores normales derivados de una fracción de la población, es evidente que el tamaño corporal es un determinante principal del gasto energético basal. Por lo tanto, se esperaría que los valores normales se expresaran en kilocalorías/kg de peso, sin embargo, el uso del peso corporal como unidad de referencia en la calorimetría indirecta no expresa con claridad el comportamiento metabólico del individuo. Primero, porque no se ha llegado a un acuerdo sobre cuál es el peso normal o deseable en un adulto, pero tampoco se ha definido si los cambios metabólicos preceden a los cambios de composición corporal.

En este trabajo de revisión hemos presentado la existencia de ecuaciones alternativas a las clásicas de Harris-Benedict para la estimación del metabolismo basal en sujetos adultos. Es conveniente difundir estas ecuaciones entre los profesionales de la salud, ya que en la actualidad su uso es poco común, aún cuando tienen fundamentos matemáticos sólidos y se acercan más al comportamiento fisiológico de los individuos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lusk G. *The elements of the science of nutrition*. 4th ed. Philadelphia, W.B. Saunders; 1928.
2. Harris JA, Benedict FG. *A biometric study of basal metabolism in man*. Washington. Carnegie Institution of Washington. Publication No. 279; 1919.
3. Stigler SM. *The history of statistics. The measurement of uncertainty before 1900*. 1st ed. Harvard University Press; 1990.
4. Fisher RA. *The design of experiments*. 4th ed. London: Oliver and Boyd; 1947.
5. Kleiber M. *The fire of life*. Revised ed. New York (NY): Robert E. Krieger Publishing Company; 1975.
6. Rubner M. *The laws of energy consumption in nutrition*. San Diego (CA): USA, Academic Press; 1982.
7. Blaxter K. *Energy metabolism in animals and man*. 1st ed. Cambridge (MA): Cambridge University Press; 1989.
8. Rivers JPW. *Heat, life and energy. An introduction to thermal physiology*. Handout for the master of science degree. Human Nutrition Department. London School of Hygiene and Tropical Medicine. University of London, October 1983.
9. Wilkie DR. Metabolism and body size. In: Pedley TJ. Ed. *Scale Effects in Animal Locomotion*. Academic Press. 1977; p23-36.
10. West GB, Brown JH, Enquist BJ. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* 1997; 276: 122-126.
11. Calder WA. III. Scaling of physiological processes in homeothermic animals. *Ann Rev Physiol* 1981; 43: 301-322.