

MEDICION DEL GASTO ENERGETICO EN NIÑOS A PARTIR DE LA FRECUENCIA CARDIACA Y ACTIVIDAD

CLAUDIA M. FILOZOF¹, CLAUDIO GONZALEZ², MARIO PERMAN³, ROLANDO SALINAS⁴

¹ Departamento de Biología, Universidad John F. Kennedy; ² Departamento de Farmacología, Universidad de Buenos Aires; ³ Servicio de Terapia Intensiva, Hospital Italiano de Buenos Aires; ⁴ Cátedra de Nutrición, Universidad de Buenos Aires

Resumen El objetivo del presente trabajo fue validar la estimación de gasto energético en niños a partir de la medición de la frecuencia cardíaca (FC) y del nivel de actividad física en un período controlado de tiempo, para hacerlo extensible posteriormente a condiciones de vida libre. El método usado como patrón fue la calorimetría indirecta. Estudiamos 25 niños (12 mujeres, 13 varones), 12.1 ± 0.7 años de edad. Durante aproximadamente 60 minutos, se midió el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de dióxido de carbono (VCO_2) por calorimetría indirecta. Las mediciones se realizaron en distintas situaciones: reposo, sentados, parados y caminando a 4 velocidades diferentes. Simultáneamente, se valoró, minuto por minuto la frecuencia cardíaca y el nivel de movimiento. Cada minuto de frecuencia cardíaca (FC) fue convertido a VO_2 y gasto energético, usando 2 ecuaciones diferentes para situaciones activas e inactivas. Cuando las cuentas (movimientos) fueron 7 o superiores en el minuto estudiado y los 2 minutos precedentes, y el valor de FC superior a un valor umbral prefijado (intersección de las líneas definidas por las 2 funciones) se utilizó una ecuación lineal ("activa"): ($VO_2 = k + b FC$). Una función cúbica se usó en los minutos restantes: "no activos": ($VO_2 = k + b FC^3$). La media del consumo de oxígeno estimado por ecuación para cada minuto no difirió de la media del valor medido por calorimetría (ANOVA, $p = 0.99$). El VO_2 medido correlacionó significativamente con el VO_2 estimado por las ecuaciones ($r = 0.99$, $p < 0.01$). Se halló, además, alto grado de acuerdo. Conclusiones. La combinación de la frecuencia cardíaca y el nivel de actividad física estimó el gasto energético con una precisión similar al método de calorimetría indirecta.

Abstract *Heart rate and physical activity to assess energy expenditure in children.* The aim of the present study was to validate assessment of oxygen consumption (VO_2) from heart rate (HR) and physical activity (PA) electronically recorded. Every minute, mean VO_2 were validated with indirect calorimetry. We studied 25 children (12 girls, 13 boys), 12.1 ± 0.7 years old. Measurements were made during about 60 minutes while kids were supine, sitting, standing and walking at four intensities. Minute by minute heart rate was converted to VO_2 and energy expenditure using 2 different functions for active and inactive situations. A linear function ($VO_2 = a + \beta HR$) was used when counts were 7 or higher and HR higher than a prefixed point (intersection between the 2 line functions). A nonlinear equation ($VO_2 = a + \beta HR^3$) was used in the remaining minutes. Mean predicted VO_2 for every minute were similar to measured VO_2 (2 ways interaction ANOVA, $p = 0.99$). Mean VO_2 correlated significantly with VO_2 predicted by equation ($r = 0.99$, $p < 0.01$). High degree of agreement was found (Bland-Altman comparisons). Combined heart rate and physical activity predicted oxygen consumption with a precision similar to the indirect calorimetric method.

Key words: heart rate, physical activity, oxygen consumption, energy expenditure

La prevalencia de obesidad se ha incrementado en los últimos años en forma alarmante, siendo este crecimiento categorizado recientemente por la Organización Mundial de la Salud como epidémico¹. La obesidad se asocia con mayor prevalencia de diabetes no insulino dependiente, dislipemia e hipertensión arterial y constituye per se un factor de riesgo mayor de enfermedad cardiovascular².

La etiopatogenia de la obesidad incluye una combinación de factores genéticos¹ y ambientales, estos últimos caracterizados por incremento de la ingesta de grasas e inactividad física³. Un menor gasto energético por actividad ha sido descripto como factor de riesgo para el desarrollo de obesidad⁴.

El gasto energético en 24 horas puede ser medido en cámara metabólica⁵. Sin embargo, presenta la desventaja de no permitir la valoración de la actividad física libre. El método patrón para valorar el gasto energético en condiciones de vida libre, es el que utiliza el agua doblemente marcada⁶. No obstante, su complejidad y costo dificultan la utilización. Un método alternativo es la estimación del gasto energético total a partir de la medición de la frecuencia cardíaca⁷.

Recibido: 29-III-1999

Aceptado: 1-IX-1999

Dirección postal: Dra. Claudia Filozof, Ciudad de la Paz 1461, 1426 Buenos Aires, Argentina
Fax: (54-11)4788-0596

E-mail: cfilozof@einstein.com.ar

Numerosos estudios han demostrado la potencialidad del uso de la frecuencia cardíaca (FC) y del nivel de actividad física (AF) para estimar el gasto energético en condiciones de vida libre⁷. Sin embargo, diversas limitaciones han impedido la expansión de esta metodología.

Hasta hace poco, los monitores electrónicos eran grandes e incómodos, con poca resolución y poca capacidad de almacenaje. El rápido avance en los microcircuitos han logrado obtener monitores más pequeños, económicos y con mayor capacidad. Los equipos disponibles actualmente permiten el grabado de frecuencia cardíaca y actividad a intervalos de 1 minuto durante varios días.

La relación entre consumo de oxígeno (VO_2) y FC y actividad es variable entre individuos. Dentro de un mismo individuo, la relación es compleja y variable con la edad, la composición corporal y el acondicionamiento físico o "fitness". El error se origina cuando el investigador elige una función matemática que no describe con precisión la relación no lineal entre consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca y actividad.

Distintos modelos han sido usados para predecir VO_2 a partir de la frecuencia cardíaca. Los primeros, usaron ecuaciones lineales⁹. El más generalizado fue el modelo de 2 funciones lineales, cuyos segmentos (activo/inactivo) intersectaban en un valor de frecuencia cardíaca denominado FLEX^{10, 11}.

En un trabajo reciente, Moon et al.⁸ hallaron que el modelo que mejor predecía el consumo de oxígeno a partir de la frecuencia cardíaca era el que utilizaba la actividad física para asignar cada minuto de FC a una función activa o inactiva, siendo la función activa lineal y la inactiva, cúbica.

El objetivo del presente trabajo fue comparar el consumo de oxígeno (VO_2) estimado a partir de la frecuencia cardíaca y nivel de actividad con el obtenido a partir de la calorimetría indirecta, considerado como método de referencia.

Población y métodos

Estudiamos 25 niños (12 mujeres, 13 varones), 12.1 ± 0.7 años de edad. Sólo se incluyeron niños sanos (excepto obesidad). Ninguno de ellos tomaba medicación que pudiese influir sobre el gasto metabólico. Los voluntarios fueron citados en ayunas luego de la realización de 48 horas de dieta eucalórica según la ecuación descrita por Schofield y citada en B Torum et al.¹² con una composición de 50% de hidratos de carbono y 20% de proteínas. La talla fue valorada con altímetro con aproximación de 0.5 cm y el peso fue medido con balanza standard (CAM) con aproximación de 0.5 kg, con el niño vistiendo ropa liviana y sin zapatos. El peso relativo se obtuvo según la ecuación.

$$PR = \text{peso actual/peso teórico} \times 100$$

* Peso teórico a partir de las tablas de Lejarraga y Orfila¹³

El desarrollo puberal (Tanner) fue evaluado a partir de los caracteres sexuales secundarios¹⁴. Todas las niñas eran al momento del estudio premenárquicas. La composición corpo-

ral fue estimada por medio de un densitómetro por doble absorción de rayos X (Lunar[®]) de acuerdo a la técnica descrita previamente¹⁵. El consumo de oxígeno (VO_2) fue medido con un equipo de circuito abierto de calorimetría indirecta (Med Graphics CPX 2.900) durante aproximadamente 60 minutos luego de 30 minutos de permanecer en decúbito dorsal y ambiente tranquilo (10 minutos acostados, 10 minutos sentados, 10 minutos parados, 20 minutos caminando a velocidades crecientes con 2 períodos intercalados de recuperación: luego de los primeros 10 minutos y al final del estudio). El gasto metabólico de reposo se obtuvo a partir de las mediciones en reposo, siguiendo la ecuación de Weir¹⁶. La frecuencia cardíaca y el nivel de actividad fueron valorados electrónicamente minuto por minuto durante 72 horas por medio de un acelerómetro de 3 dimensiones (Minimitter 2 000, Minilogger Co Inc, USA). Este equipo permite registrar los movimientos en un valor cuya unidad se ha generalizado como "cuentas por minuto". Dicho valor es proporcional a la intensidad del movimiento.

Para cada niño se estableció la relación individual, minuto a minuto, entre consumo de oxígeno (VO_2) y frecuencia cardíaca para los distintos niveles de actividad.

Dos ecuaciones diferentes fueron usadas para predecir gasto energético a partir de la frecuencia cardíaca:

1. Se utilizó una función lineal: $VO_2 = a + b \text{ FC}$ ("activa"), cuando las cuentas (movimiento) en un minuto determinado y los 2 minutos precedente fueron 7 o superiores (actividad) y la frecuencia cardíaca (FC) superior a un valor umbral determinado (intersección entre las líneas de las 2 funciones):

2. Una función cúbica: $VO_2 = a + b \text{ FC}^3$ se usó en los minutos restantes ("no activos").

Para controlar los cambios bruscos y no fisiológicos que podrían producirse en los valores de consumo de oxígeno cuando la FC cambia de una curva a otra, utilizamos el siguiente modelo: 2 minutos de actividad por encima del valor umbral y los 2 minutos precedentes, eran condición para el cambio a la curva activa. Para la FC, identificamos la intersección de las curvas activa y no activa. Este valor se estableció como mínima frecuencia cardíaca para ingresar a la curva activa. Valores inferiores a los establecidos como umbrales, tanto de frecuencia cardíaca como de actividad, estipulamos como necesarios para cambiar de la curva activa a la inactiva.

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado usando: Statistical Package for the Social Sciences Software (SPSS para Windows, versión 7.0). Los datos se muestran como media \pm DS. La comparación de los minutos medidos por calorimetría y estimados por las ecuaciones se realizó con análisis de la variancia (ANOVA). La correlación entre VO_2 medido y estimado fue estudiada por el método de Pearson. El acuerdo o agreement se realizó según descripción de Bland Altman¹⁷.

Resultados

Las características físicas de los niños estudiados pueden observarse en la Tabla 1. La media del consumo de oxígeno estimado por ecuación para cada minuto no difirió de la media del valor medido por calorimetría (ANOVA, $p = 0.99$) (Fig. 1). La media de todos los minutos de consumo de oxígeno medidos por calorimetría correlacionó significativamente con la media de todos los minutos de VO_2 estimados por las ecuaciones ($r = 0.99$, $p < 0.01$). Se halló, además, alto grado de acuerdo ("agreement").

TABLA 1.- Características físicas de los niños

n	25 (13 varones/12 mujeres)	
edad (años)	12.1 ±	0.7
altura (cm)	154 ±	7.1
peso (kg)	55.9 ±	14.7
PR ¹ (%)	132.0 ±	31.8
IMC (Kg/m ²)	23.4 ±	5.4
grasa ² (%)	35.5 ±	13.8
MLG ³ (kg)	34.4 ±	4.4
GMR ⁴ (kcal/día)	1714.6 ±	320.8

1: PR = peso relativo (con referencia a tablas de Lejarraga y Orfila¹³), 2: grasa por absorptometría, 3: MLG = masa libre de grasa, 4: GMR = gasto metabólico de reposo. Los valores se presentan como media ± DS.

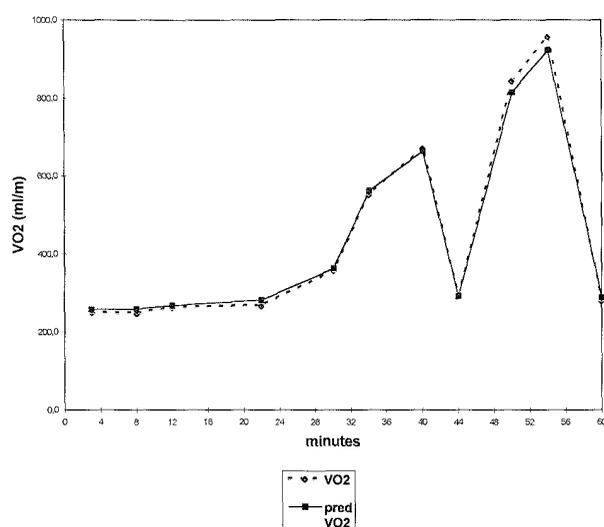


Fig. 1.- Consumo de oxígeno por calorimetría (VO_2) versus consumo de oxígeno predicho por las ecuaciones a partir de la frecuencia cardíaca ($pred\ VO_2$). Los puntos representan los valores medios para los 25 niños. Minuto 4 y 8: en reposo, minuto 12: sentados, minuto 22: parados, minutos 30 a 40 caminando a velocidades crecientes, minuto 44: representa la media del primer período de recuperación, minutos 50 y 54: trotando a velocidades crecientes, minuto 60: la media del período de recuperación final. ANOVA: F (10.200); $p < 0.996$.

Discusión

En este estudio, la combinación de la frecuencia cardíaca y el nivel de actividad estimaron el gasto energético con una precisión semejante al método de calorimetría indirecta.

Nuestros resultados concuerdan con los de Moon et al.⁸ y Haskell et al.¹⁸ quienes mostraron la utilidad de usar la actividad física para asignar el tipo de curva (activa o no activa) a emplear. La correlación hallada en el pre-

sente trabajo entre la media de todos los minutos en que se midió el consumo de oxígeno por calorimetría y la media de los minutos equivalente de VO_2 estimados a partir de la frecuencia cardíaca fue de 0.99, superior a la descrita en otros trabajos^{8, 18}. Una de las posibles explicaciones podría ser las condiciones controladas con las que se realizó el presente estudio y el tipo de actividad que sólo incluyó caminata y trote en cinta. En condiciones de vida libre, la ingesta, ciertos estímulos emocionales y la realización de otras actividades podrían modificar esta alta correlación. Sin embargo, la medición durante 24 horas en cámara metabólica incluye la mayoría de estas actividades y la correlación descrita por Moon et al. resultó altamente significativa⁸.

Los errores obtenidos en la estimación del consumo de oxígeno a partir de la frecuencia cardíaca podrían ser debidos a una inadecuada calibración previa o a la utilización de funciones matemáticas inadecuadas.

El popular método del FLEX usa un punto crítico de FC para asignar las funciones: activas e inactivas¹¹. La principal crítica a este método es el ignorar los posibles incrementos de frecuencia cardíaca en situaciones inactivas¹⁹.

El rango de error descrito previamente en la predicción del consumo de oxígeno durante 5 días con este método fue de 16% (-10.6 a 4.6%)⁹. Con el método FLEX los rangos de errores informados con respecto a cámara metabólica, fueron entre el 20 al 35% en adultos^{8, 12} y del 10% en niños¹¹. La validación de este método contra agua doblemente marcada arrojó errores de hasta 40%^{20, 21}. Sin embargo, es necesario tener en cuenta la gran variabilidad de este último método per se.

Debido a la imposibilidad de estimar el gasto energético total tanto a partir de la calorimetría en cámara metabólica como a través del método de agua doblemente marcada en nuestro medio y debido a la alta correlación y acuerdo hallados, sería de utilidad una validación más ampliada de esta metodología que incluya otros ejercicios, el control de las variaciones post ingesta y ante ciertos estímulos emocionales para poder ser eventualmente utilizado como método de estimación de gasto energético en la práctica clínica.

Bibliografía

1. Global prevalence and secular trends in obesity. Preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation on obesity. World Health Organization, Geneva 1998.
2. Eckel R, Krauss R. American Heart Association call to action: obesity as a major risk factor for coronary heart disease. *Circulation* 1998; 97: 2099-100.
3. Prentice AM, Jebb SA. Obesity in Britain: gluttony or sloth? *Br Med J* 1995; 311: 437-9.
4. Roberts S. Abnormalities of energy expenditure and the development of obesity. *Obesity Research* 1995; 3 suppl 2: 155-s163-s.

5. Ravussin E, Lillioja S, Anderson T, Christin L., Bogardus C. Determinants of 24-hour Energy Expenditure in man. Methods and Results using a Respiratory Chamber. *J Clin Invest* 1986; 78: 1568-78.
6. Coward WA. Stable isotopic methods for measuring energy expenditure: the doubly labeled water method-principles and practice. *Proc Nutr Soc* 1988; 47: 209-18.
7. Ceesay SM, Prentice AM, Day KC, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Scott W. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *Br J Nutr* 1989; 61: 175-186.
8. Moon JK, Butte NF. Heart rate and physical activity provide precise measurements of 24 hour oxygen consumption and carbon dioxide production rates. Publication of USDA/ARS Children's Nutrition Research Center, Department of Pediatrics, Baylor College of Medicine and Texas Children's Hospital, Houston, Texas, USA, 1996.
9. Dauncey MJ, James WPT. Assessment of the heart-rate method for determining energy expenditure in man, using a whole-body calorimeter. *Br J Nutr* 1979; 42: 1-13.
10. Emons HJG, Groenenboom DC, Westerterp KR, Saris WHM. Comparison of heart rate monitoring combined with indirect calorimetry and the doubly labeled water ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) method for the measurement of energy expenditure in children. *Eur J Appl Physiol* 1992; 65: 99-103.
11. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT. Energy expenditure from minute-by-minute heart rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 1988; 48: 552-9.
12. Torum B, Davies PS, Livingstone MB, Paolisso M, Sackett R, Spun GB. Energy requirements and dietary energy recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50 (suppl 1): s-37-80.
13. Lejarraga H, Orfila A. Tablas de peso para estatura de niñas y niños argentinos de 0 a 19 años en Braguinsky J (ed). *Obesidad, patogenia, clínica y tratamiento*. Promedicina, Argentina 1987; 302-3.
14. Tanner JM. *Growth and adolescence*. 2nd ed. Oxford, United Kingdom: Blackwell Scientific, 1961.
15. Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr* 1990; 51: 1106-10.
16. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949; 109: 1-9.
17. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 307-10.
18. Haskell WL, Yee MC, Evans A, Irbry PJ. Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25(1): 109-15.
19. Li R, Deurenberg P, Hautvast JGAJ. A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *Am J Clin Nutr* 1993; 58: 602-7.
20. Livingstone MBE, Prentice AM, Coward WA, Ceesay SM, Strain JJ, McKenna PG, Nevin GB, Barker ME, Hickey RJ. Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *Am J Clin Nutr* 1990; 52: 59-65.
21. Schulz S, Westerterp KR, Brock K. Comparison of energy expenditure by the doubly labeled water technique energy intake, heart rate, and activity recording in man. *Am J Clin Nutr* 1989; 49: 1146-54.

Para nosotros, la cultura no proviene de energía que se degrada al propagarse, ni es caudal que aminore al repartirse; su defensa, obra será de actividad generosa que lleva implícita las dos más hondas paradojas de la ética: sólo se pierde lo que se guarda, sólo se gana lo que se da.

Antonio Machado (1875-1939)

Abel Martín. Cancionero de Juan de Mairena. Prosas varias. Buenos Aires: Losada, 4ta Edición, 1975, p 113