

MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GASTADA Y DE LA ACTIVIDAD FÍSICA

METHODS FOR QUANTIFYING ENERGY EXPENDITURE AND PHYSICAL ACTIVITY

A partir de 1960, especialmente, se ha reconocido la gran importancia de la actividad física en el mantenimiento de unos adecuados índices de salud y en la prevención o el retraso de enfermedades^{6,37}. Muchos son los estudios que apuntan el estilo de vida como un factor importante que influye en la salud, confiriendo una importancia al estilo de vida activo para alcanzar unos buenos índices de salud^{25,49} ya que existe una relación directa entre el total de la actividad física diaria de un individuo y su estado de salud³⁶ y una relación inversa con el riesgo de sufrir determinadas enfermedades³⁰.

Por estas razones es necesario desarrollar métodos para la cuantificación de la energía necesaria para la realización de cualquier actividad física. Por ello, haremos una revisión de los métodos más importantes para la cuantificación de la energía gastada y la actividad física.

En primer lugar, es importante reconocer que energía gastada y actividad física no son términos sinónimos²⁷. Actividad física es una conducta que provoca un gasto de energía proporcional a su intensidad que se conoce como gasto energético. Pero la energía necesaria para realizar un determinado trabajo, no es constante. Esta relación es conocida como eficacia mecánica. Por ello podemos medir la energía o el trabajo manifestado. En ocasiones si asumimos una eficacia humana constante, será indiferente la cuantificación de una u otra.

Basándonos en lo anteriormente dicho, clasificaremos los métodos según si miden la energía gastada o la actividad física (Figura 1).

MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GASTADA

a. Calorimetría directa. Se basa en considerar que la producción de calor es equiparable al metabolismo de tal forma que cuantificando la energía térmica producida durante la actividad física se obtendrá una medida de la intensidad metabólica. Esta producción de calor se mide en un calorímetro, que consta de una cámara habitable térmicamente aislada. Esta técnica es altamente precisa y de gran importancia teórica pues mide directamente la energía producida²⁶, sin embargo su aplicabilidad se ve reducida a la cámara, siendo muy difícil el estudio del gasto energético humano en actividades habituales normales, además esta técnica no aporta información acerca de la utilización de sustratos y se hace especialmente cara debido a la necesidad de un costoso instrumental^{31,7}.

b. El agua doblemente marcada. Este método determina la energía gastada a partir de la producción de CO₂. Para ello se emplean dos isótopos estables: deuterio (2H) y oxígeno-18 (18O). Se considera que el 18O se mantiene en equilibrio en el CO₂ espirado y la reserva total de agua del cuerpo mientras que el 2H solamente en el agua corporal. El 2H es eliminado en

Nuria Garatachea Vallejo¹

Euclides Cavalcanti Almeida²

José A. de Paz Fernández³

¹Dra. en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte
²Licenciado en Educación Física
³Dr. en Medicina y Cirugía

CORRESPONDENCIA:

Nuria Garatachea Vallejo. Universidad de León. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Departamento de Fisiología. Campus de Vegazana, s/n. 24071 León.

Aceptado: 30-09-2002

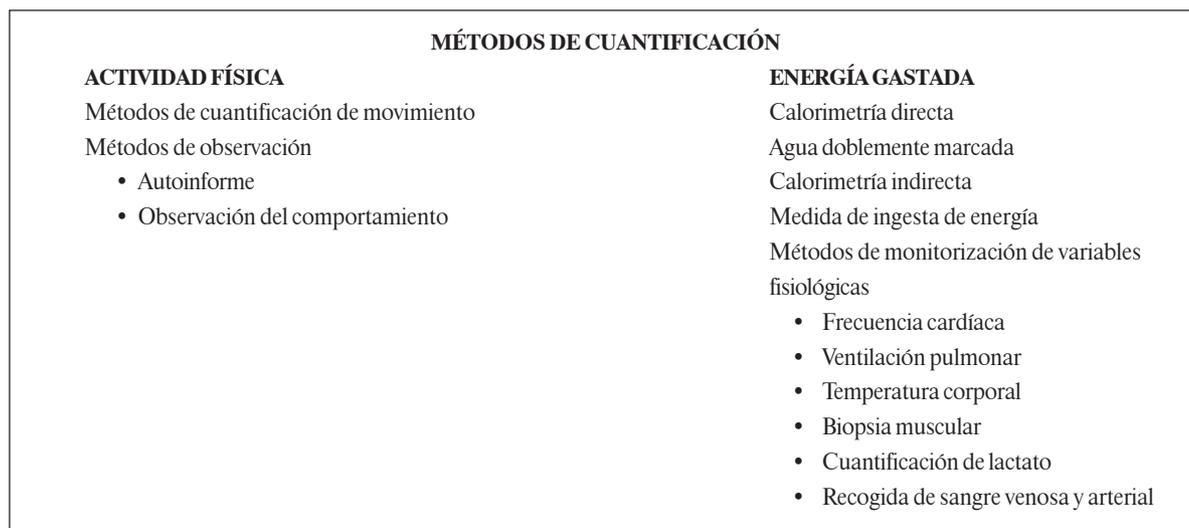


FIGURA 1.-
Clasificación de los
diferentes métodos de
cuantificación

orina, saliva, sudor y heces y el ^{18}O solamente en heces y CO_2 , por tanto la diferencia existente entre las velocidades de eliminación de los dos isótopos estables está relacionada con la velocidad de producción de CO_2 ⁴⁵. Esta producción de CO_2 se relaciona con el gasto energético por medio de la calorimetría indirecta.

Según diferentes estudios de validación es un método que obtiene excelentes resultados³⁹. Sin embargo, también destacan sus dos limitaciones más importantes. La primera, solamente aporta el coste energético de varios días sumando el coste debido a metabolismo basal, termogénesis de la digestión, síntesis de tejidos y actividad física. La segunda, el incremento del coste del ^{18}O así como la necesidad de un equipo de análisis especializado, limita el uso en estudios de grandes poblaciones.

c. Calorimetría indirecta. Este método asume que todo el metabolismo energético del cuerpo depende finalmente del uso del O_2 . Por lo tanto si se mide dicho O_2 se puede obtener una evaluación indirecta de aquél. Por lo que es necesario el análisis del intercambio gaseoso en la respiración, midiendo el volumen de la ventilación y la concentración de los gases inspirados y espirados¹⁵.

Si añadimos la determinación de la producción de CO_2 espirado a la del consumo de oxígeno se conoce la relación: producción de dióxido de

carbono/consumo de oxígeno, llamada cociente respiratorio (CR). Este CR varía dependiendo del sustrato energético metabolizado (Hidratos de carbono, grasas o proteínas)³¹. Dado que en condiciones normales la función energética de las proteínas es muy pequeña, se consideran únicamente como sustratos energéticos los hidratos de carbono y las grasas, hablando así de CR no proteico. En función del CR se conoce el equivalente energético para el O_2 o rendimiento energético del oxígeno (Número de kilocalorías obtenidas a partir de la utilización de 1 litro de O_2) que refleja su valor calorimétrico⁵³. De esta forma se determina la energía gastada.

Este método es apropiado sólo en situaciones en que el ejercicio se realiza en condiciones submáximas y de equilibrio estable ya que el CO_2 eliminado procede fundamentalmente de la oxidación de los principios inmediatos. En situaciones de hiperventilación y acidosis metabólica estos valores se distorsionan⁵¹.

Actualmente esta técnica no está restringida al laboratorio debido al desarrollo de analizadores portátiles de gases que el sujeto puede portar allí donde vaya dentro de unas condiciones ambientales normales³⁸.

d. La ingesta de energía. Existen estudios que relacionan la ingesta de alimentos con los requerimientos energéticos^{8,10,40,41}. Este método estima

la energía gastada midiendo el contenido energético de la comida ingerida, notando que es apropiado sólo si el individuo está en equilibrio energético. Generalmente se asume que es válido cuando el peso de la persona no se ha modificado y el grado de hidratación permanece constante.

e. Métodos de monitorización de variables fisiológicas.

e1. Frecuencia cardíaca. Este método estima la energía gastada a partir de la monitorización de la FC. Para ello es necesario conocer la relación individual existente entre la FC y el VO_2 , ya descrita en 1907 por Benedict⁴. Posteriormente los valores monitorizados de FC durante la actividad física a evaluar se transforman en volumen de O_2 consumido por medio de la citada relación, y por último se estima la energía gastada a partir del volumen de O_2 utilizado, multiplicando estos por el equivalente calórico del O_2 , que para simplificar los cálculos se asume como $20.17 \text{ KJ l } O_2^{-1}$ ²⁶.

La relación VO_2 -FC se obtiene al realizar una ergoespirometría, registrando simultáneamente los valores de VO_2 y FC; existe acuerdo en la mayoría de estudios en que es necesario calcular esta relación individualmente²⁹.

Citar que, como principal desventaja, fuera de un determinado rango específico de FC no refleja el verdadero VO_2 ^{16,17}, además también existen factores que limitan el uso de este método, como son: temperatura ambiente, estado emocional, hidratación, tipo de contracción...^{18,42}.

Pese a sus desventajas, este método se considera uno de los más útiles y prácticos para la cuantificación de la energía gastada^{46,47}.

e2. Ventilación pulmonar. Debido a la relación que existe entre la ventilación pulmonar y el VO_2 ^{12,14}, puede utilizarse la monitorización de la primera para una valoración de la energía gastada.

Se ha comprobado que la ventilación se relaciona linealmente con la intensidad de la mayoría de actividades diarias^{9,13}, pero se hace necesaria

la curva personal VO_2 -ventilación para obtener adecuados resultados.

e3. Temperatura corporal. También ha sido descrita una relación entre la temperatura corporal y la energía gastada en condiciones de laboratorio⁵. El largo periodo para estabilizarse la temperatura corporal, el fino ajuste al que sometemos a esta variable así como su alteración en muchas circunstancias y su poca utilidad práctica hace que no sea apropiado por sí mismo pero sí lo es como complemento de otros sistemas de monitorización²³.

e4. Biopsia muscular. Consiste en tomar una pequeña parte de tejido de un músculo específico y podría utilizarse para la estimación de la energía gastada, principalmente de la anaeróbica³. Requiere de una pequeña incisión y la inserción de una aguja de Bergström en el músculo. Normalmente se hace antes y después del ejercicio o del entrenamiento. Esta técnica usada con otras mediciones proporciona una información exacta de los cambios crónicos. La biopsia muscular permite la determinación posterior de múltiples metabolitos y enzimas musculares. Su principal inconveniente es el alto grado de invasividad.

e5. Método de cuantificación de lactato. Consiste en medir el contenido de lactato en sangre^{19,43}, que es un producto final en la producción de energía anaeróbica. Para ello es necesaria una pequeña extracción de sangre por medio de una pequeña punción^{11,20}.

e6. Método de recogida de sangre arterial y la venosa. Se recoge sangre arterial y la venosa procedente del músculo activo, de tal forma que se obtiene precisa información de lo que ocurre en aquél. Pueden analizarse variables bioquímicas, presiones de gases...

MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA

a. Métodos de cuantificación del movimiento. Estos métodos se basan en la utilización de

instrumentos, podómetros y acelerómetros, para la cuantificación del movimiento corporal, a partir de la cual se estimará la energía gastada.

Los podómetros mecánicos fueron los primeros aparatos en medir la actividad física, éstos cuantifican los desplazamientos de un sistema pendular, por lo que su aplicación se limita a correr o caminar y solamente mide el número de zancadas o pasos realizados³³.

Los acelerómetros miden la magnitud de los cambios de la aceleración del centro de masas del cuerpo durante el movimiento. Cuanto más precisos sean y registren el movimiento en más planos corporales mejor será la estimación de la energía gastada²⁴.

Las principales fuentes de error en la estimación vienen dadas por las limitaciones de estos instrumentos para valorar el movimiento corporal, ya sea por la dificultad para detectar el incremento de la energía gastada cuando aumenta la resistencia al movimiento o la pendiente, por que un solo sensor no puede identificar todo el movimiento que desarrollan las diferentes partes del cuerpo y por no detectar el ejercicio estático^{32,22}. Pese a ello, muchos estudios reconocen el potencial de estos instrumentos para la evaluación de la población en general^{28,48,44}.

b. Métodos de observación.

b1. Autoinforme. Este método consiste en recoger información proporcionada por el propio sujeto a partir de un cuestionario o entrevista; su sencillez y escaso coste hace que sea el método más empleado en estudios poblacionales⁴⁹. Los cuestionarios registran una serie de actividades físicas donde el individuo deberá determinar cuáles realiza y cuáles no y a qué intensidad. Éstas se transforman en energía calórica a partir de unas tablas de conversión a julios en las que está codificada cada actividad².

Dependiendo del tipo de población que se evalúe será más apropiado un tipo de informe u

otro, pues generalmente no recogen todas las actividades que realiza la población ya que habría innumerables items. Harada, *et al.*²¹ sugieren para la tercera edad cuestionarios que recogen actividades ligeras, tales como caminar o coser, como por ejemplo “*Community Healthy Activities Model Program for Seniors Questionnaire*”; Ainsworth, *et al.*¹, por su parte, proponen el cuestionario “*Kaiser Physical Activity Survey*” para mujeres. Los informes pueden recoger las actividades ocupacionales y las actividades realizadas durante el tiempo libre; aunque últimamente se presta más atención a las de tiempo libre puesto que la mayoría de la población no tiene trabajos que requieran un cansancio físico regular³⁷. Uno de los cuestionarios más utilizados para el registro de las actividades físicas recreativas es el “*Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire*”^{50,51}.

b2. Observación del comportamiento. La única diferencia respecto del anterior es que es un observador entrenado el que registra las actividades que los individuos realizan así como su duración e intensidad⁷, de esta forma el registro es más objetivo ya que el observador ha sido instruido previamente para su tarea, pudiendo además utilizar instrumentos para facilitar su labor como grabadoras, video, ordenadores...

Sin embargo la necesaria preparación del observador, la posible alteración del comportamiento del individuo cuando es observado, la monotonía que puede venir dada por un período de tiempo a evaluar demasiado largo y si además se requiere de un observador por individuo hacen que este método no sea apropiado para la evaluación de grandes poblaciones³⁴.

En resumen, decir que reconocida la gran importancia que tiene el gasto energético sobre la salud es de gran interés para los profesionales de la actividad física el conocimiento y la adecuada utilización de los diferentes métodos para la cuantificación de éste. La utilización de uno u otro dependerá, por supuesto, de la disponibilidad de material y del objetivo que se

pretenda alcanzar con dicha cuantificación del gasto. De este modo, se deberán valorar las ventajas e inconvenientes de cada método previamente a la elección de uno de ellos sin olvidar qué objetivos se persiguen.

Una adecuada elección conllevará la obtención de unos resultados apropiados que informen de forma ajustada a las expectativas del profesional o investigador. Y de esta forma se partirá de una información precisa y necesaria para una posterior valoración de la energía gastada o actividad física.

B I B L I O G R A F Í A

- Ainsworth B, Haskell W, Whitt M, et al.** Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:S498-S516.
- Ainsworth B, Sternfeld B, Richardson M, Jackson K.** Evaluation of the Kaiser Physical Activity Survey in women. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(7):1327-38.
- Bangsbo J.** Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(1):47-52.
- Benedict FG.** *The influences of inanition on metabolism.* (Publ. Nº. 77). Washington, DC: Carnegie Institute, 1907.
- Bergrenn G, Christensen E.** Heart rate and body temperature as indices of metabolic rate during work. *Arbeitsphys* 1950;14:255-60.
- Blair S, Kohl III H, Paffenbarger J, Clark D, Cooper K, Gibbons L.** Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. *JAMA* 1989; 262:2395-401.
- Blasco T.** *Actividad física y salud.* Barcelona: Martinez Roca, 1994.
- Buskirk E, Harris D, Méndez J, Skinner J.** Comparison of two assessments of physical activity and survey method for caloric intake. *Am J Clin Nutr* 1971;24:1119-25.
- Calderón Montero E, González Herrero C, Segivia Martínez J, Silvarrey Valera J.** "Parámetros del modelo respiratorio durante una prueba de esfuerzo incremental". *Archivos de Medicina del Deporte* 1997;14(58):97-101.
- Carta I, Porru A, Lecca F, Marcello C, Piras M.** Approccio allo studio del bilancio energetico in ambito sportivo. Approach to energy balance study in sportsmen. *Medicina dello sport* 1996;49(2):133-9.
- Cerretelli P, Binzoni T.** The energetic significance of lactate accumulation in blood at altitude. *Int J Sports Med* 1990; (11 Suppl 1): S27-30.
- Consolazio C, Nelson R, Daws T, Krzywicki H, Johnson H, Barnhart R.** Body weight, heart rate, and ventilatory volume relationships to oxygen uptakes. *Am J Clin Nutr* 1971;24:1180-5.
- Durnin J, Edwards R.** Pulmonary ventilation as an index of energy expenditure. *Quart J Exp Physiol* 1955;40:370-7.
- Edholm O.** The assessment of habitual activity. En: *Evang K, Andersen KL. Physical activity in health and disease.* Oslo: Williams and Wilkins, 1966;187-97.
- Ferrannini E.** The theoretical bases of indirect calorimetry. *Metabolism* 1988;37:287-301.
- Freedson P, Miller K.** Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Res Q Exerc Sport* 2000;71:21-9.
- Garatachea N.** *Monitorización de la frecuencia cardíaca para la cuantificación de la energía gastada para la actividad física. Utilidad y limitaciones como método para la prescripción de ejercicio físico.* Tesis Doctoral. Universidad de León, 2002.
- Goldsmith R, Miller D, Mumford P, Stock M.** The use of long-term measurements of heart rate to assess energy expenditure. *J Physiol* 1967;189.
- González Aramendi JM, Ainz González F.** Relación lactato-velocidad-frecuencia cardíaca en pruebas de 1.000 metros de remo de banco fijo. *Archivos de Medicina del Deporte* 1996; 13(54): 253-258.
- Grassi B, Quaresima V, Marconi C, Ferrari M, Cerretelli P.** Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *J Appl Physiol* 1999;87(1): 348-55.
- Harada N, Chiu V, King A, Stewart A.** An evaluation of three self-report physical activity instruments for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(6):962-70.

22. Haskell W, Yee M, Evans A, Irby P. Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25(1):109-15.
23. Healey J. Future possibilities in electronic monitoring of physical activity. *Res Q Exerc Sport* 2000;71:137-45.
24. Iltis P, Givens M. Validation of the CALTRAC™ accelerometer during simulated multi-gear cycling at different work rates. *JEPonline* 2000;3(2):21-7.
25. Johansson S, Sundquist J. Change in lifestyle and their influence on health status and all-cause mortality. *International Epidemiological Association* 1999;28:1073-80.
26. Kalkwarf H, Haas J, Belko A, Roach R, Roe D. Accuracy of heart-rate monitoring and activity diaries for estimating energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 1989;49:37-43.
27. Lamonte M, Ainsworth B. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(6):S370-S378.
28. Leenders N, Sherman W, Nagaraja H. Comparisons of four methods of estimating physical activity in adults women. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(7):1320-6.
29. Livingstone M, Robson P, Totton M. Energy expenditure by heart rate in children: an evaluation of calibration techniques. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(8):1513-9.
30. Manson J, Frank B, Rich-Edwards J, Colditz G, Stampfer M, Willett W, et al. A prospective study of walking as compared with vigorous exercise in the prevention of coronary heart disease in women. *N Engl J Med* 1999; 341(9):650-8.
31. McArdle W, Katch F, Katch V. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. 2001. 5a ed. Lippincott Williams & Wilkins.
32. Montoye H, Washburn R, Servais S, Ertl A, Webster J, Nagle F. Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15:403-7.
33. Montoye H. Utilisation des compteurs de mouvements pour la mesure de l'activité physique. (Use of movement sensors in measuring physical activity). *Sci Sports* 1988;3(3):223-36.
34. Montoye H, Kenter H, Saris W, Washburn R. Measuring physical activity and energy expenditure. Human Kinetics. Champaign, Illinois, 1996
35. Montoye H. Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(9):S439-S441.
36. Oja P. Dose response between total volume of physical activity and health and fitness. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(6):S428-S437.
37. Pate R, Pratt M, Blair S, Haskell W, Macera C, Bouchard, C, et al. Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 1995; 273(5):402-7.
38. Patton JF. Measurement of oxygen uptake with portable equipment. 2000. URL disponible en: <http://nap.edu/openbook/0309057973html297.html>.
39. Prentice AM. *The Doubly-labelled Water Method for Measuring Energy Expenditure: Technical recommendations for use in humans*. Vienna: IDECG, International Atomic Energy Agency, 1990.
40. Ramírez García C, Ríos Hernández A, Pineiro Marti G, Mestre Pinillo M. Determinación del gasto energético en atletas de canoa-kayak y remo altamente cualificados. *Archivos de Medicina del Deporte* 1993;10(40): 407-11.
41. Ramírez García C, Ramírez Reyes L, Peneiro Marti G, Mestre Pinillo M, Martínez M. Estimación del gasto energético diario y relativo en esgrimistas cubanos de elite. *Archivos de Medicina del Deporte* 1996;13(53):181-5.
42. Rodahl K, Vokac Z, Fugelli P, Vaage O, Maehlum S. Circulatory strain, estimated energy output and catecholamine excretion in Norwegian coastal fishermen. *Ergonomics* 1974;17:585-602.
43. Rodriguez FA, Banquells M, Pons V, Drobnic F, Galilea P. A comparative study of blood lactate analytic methods. *Int J Sports Med* 1992;13(6):462-6.
44. Sherman W, Morris D, Kirby T, Petosa R, Smith B, Frid D, Leenders N. Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac-R3 D) to measure energy expenditure during ambulation. *Int J Sports Med* 1998;19(1):43-7.
45. Speakman J. The history and theory of the doubly labeled water technique. *Am J Clin Nutr* 1999;68:932S-938S.
46. Spurr G, Prentice A, Murgatroyd P, Goldberg G, Reina J, Christman N. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 1988; 48: 552-559.
47. Strath S, Swartz A, Bassett D, O'Brien W, King G, Ainsworth B. Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(9): S465-S470.
48. Strath S, Bassett D, Swartz A, Thompson D. Simultaneous heart rate-motion sensor technique to estimate energy

- expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(12):2118-23.
49. **Troiano R, Macera C, Ballard-Barbash R.** The dietary guidelines: surveillance issues and research needs. Be physically active each day. How can we know?. *J Nutr* 2001; S451-S460.
50. **Tuero C, De Paz JA, Márquez S.** Relationship of measures of leisure time physical activity to physical fitness indicators in Spanish adults. *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41(1):62-7.
51. **Tuero C, Márquez S, De Paz JA.** Análisis de un modelo de cuestionario de valoración de la actividad física durante el tiempo libre (II): validación y adaptación a la población española del LTPA. *Revista Digital*; 2000: 28. URL disponible en <http://www.efdeportes.com>.
52. **Wells J, Mphil M.** Energy Metabolism in Infants and Children. *Nutrition* 1998;14(10):817820.
53. **Zavala D.** *Nutritional assesment in critical care: a training handbook*. University of Iowa: Iowa, 1989.