

# Valoración del gasto energético en los niños. Implicaciones fisiológicas y clínicas. Métodos de medición

A. Sancho Martínez, P. Dorao Martínez-Romillo y F. Ruza Tarrío

Servicio de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital Universitario Infantil La Paz. Madrid. España.

Se revisa en este artículo la importancia del estudio del metabolismo energético y sus métodos de valoración en los niños. Clásicamente se han utilizado ecuaciones antropométricas para la predicción de los requerimientos energéticos, pero en muchos estados fisiológicos y patológicos existen discrepancias entre los valores estimados y los reales, por lo que deben emplearse mediciones directas del consumo energético. El método del agua doblemente marcada es el patrón oro para la medición del gasto energético total en períodos prolongados; se utiliza preferentemente en investigación. La calorimetría indirecta se considera el patrón de referencia para la determinación del gasto energético en reposo en la práctica clínica, si bien no ofrece datos del consumo energético en condiciones reales de vida y presenta limitaciones técnicas que impiden su uso en algunos pacientes críticos. Se analizan otros métodos que intentan solventar los problemas de medición, basados en datos de frecuencia cardíaca, temperatura, sensores de movimiento y métodos combinados.

## Palabras clave:

*Metabolismo energético. Calorimetría indirecta. Agua doblemente marcada. Sensores de movimiento.*

## EVALUATION OF ENERGY EXPENDITURE IN CHILDREN. PHYSIOLOGICAL AND CLINICAL IMPLICATIONS AND MEASUREMENT METHODS

The present article reviews the importance of the study of energy metabolism and its methods of assessment in children. Classically, energy requirements have been assessed by predictive equations based on anthropometric data. However, there are several physiologic and pathogenic states that may cause discrepancies between estimated and real values and consequently direct measurements of energy expenditure should be used.

The gold standard to assess total energy expenditure during prolonged periods is the doubly labeled water method, which is mainly used for research studies. The best approach for resting energy expenditure determination in the clinical setting is indirect calorimetry. However, this method does not provide data on energy consumption under free-living conditions and its use in some critical care patients is restricted by technical limitations. Several other approaches to assess activity have been developed, based on heart rate, body temperature measurements, motion sensors and combined methods.

## Key words:

*Energy metabolism. Indirect calorimetry. Doubly labeled water method. Motion sensors.*

## VALORACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO

El conocimiento del metabolismo energético es necesario para diseñar estrategias nutricionales correctas<sup>1-4</sup>. Cobra especial importancia en el tratamiento de los pacientes críticamente enfermos<sup>2-6</sup>, sobre todo en niños<sup>6-15</sup>, debido a su reserva energética menor<sup>16,17</sup>. Se ha estimado una incidencia de algún grado de malnutrición proteico-calórica del 16-55,4%<sup>18,19</sup> e incluso del 72%<sup>14</sup> en los niños ingresados en unidades de cuidados intensivos. Algunos estudios han mostrado que, sobre todo en los primeros días de estancia en unidades de cuidados intensivos pediátricos (UCIP), el soporte nutricional no cubre los requerimientos<sup>8,11,20,21</sup> (incluso alcanzando sólo el 20% o menos<sup>20</sup>). Sin embargo, a medida que se alarga la estancia en la unidad tiende a excederlos<sup>8,11</sup>. La malnutrición se relaciona con una mayor morbilidad<sup>8-9,18,19</sup> y mortalidad<sup>8,18</sup>. Por otra parte, el aporte excesivo de nutrientes, tal como se recomendaba hace años, también tiene con-

**Correspondencia:** Dra. A. Sancho.  
Servicio de Cuidados Intensivos. Hospital Universitario Infantil La Paz.  
P<sup>o</sup> de la Castellana, 261. 28046 Madrid. España.  
Correo electrónico: sanchomana@hotmail.com

Recibido en agosto de 2007.  
Aceptado para su publicación en octubre de 2007.

secuencias deletéreas, al crear un compromiso respiratorio<sup>22-24</sup> y al alterar la funcionalidad hepática<sup>24</sup>.

Los requerimientos energéticos diarios (RED) engloban el gasto energético en reposo (GER), la actividad física, el efecto termogénico de los alimentos y el crecimiento<sup>1-3,25,26</sup>. El GER representa el consumo del metabolismo basal (MB, tasa metabólica basal)<sup>27</sup> más el consumo de energía que supone el mantener una actividad en vigilia en situación de reposo muscular<sup>1,28,29</sup>. Algunos autores asimilan GER y MB<sup>1,30,31</sup>, aunque el GER es un 8-10% más elevado<sup>28,29</sup>, debido a que para la medición del MB se exige un ayuno de 12 h y reposo completo previo de 8 h, mientras que para el GER los períodos de ayuno y reposo son más reducidos.

Aunque desde hace años existen ecuaciones diseñadas para predecir las necesidades energéticas a partir de las características antropométricas<sup>32-40</sup>, validadas en diversos estudios y publicadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1985<sup>41</sup>, muchos estados tanto fisiológicos como patológicos pueden causar importantes discrepancias entre los valores estimados y los reales<sup>2,5,7,30,42-112</sup>.

Las variaciones en el GER están en relación con el peso<sup>19,25,32-53</sup> (la influencia de la altura es controvertida<sup>1,32-34,37,52</sup>), la masa corporal magra<sup>30,38,39,42-47,52-58,63</sup>, el sexo<sup>1,32-37,43,44,47-50,59-61,63</sup>, la edad<sup>1,2,16-18,32,34,37,43,44,47,63</sup>, factores genéticos<sup>63</sup> incluyendo el peso de los padres<sup>45,57,64,65</sup> y el grupo étnico<sup>44,45,57,59,61</sup>, y factores medioambientales tales como la temperatura<sup>43,66</sup>. Influyen, asimismo, la actividad simpática<sup>67,68</sup> y la situación clínica y nutricional<sup>8,19,36,37,43-45,52-54,59,69-75</sup>. La actividad física es el componente más variable del gasto energético total (GET)<sup>1</sup>. También el coste energético de una actividad varía en función del peso<sup>45,48,49</sup>, composición corporal<sup>45,48-49,58,61</sup>, edad<sup>48,58</sup> y grupo étnico<sup>45,57-59,61</sup>. El efecto termogénico de la alimentación (energía requerida para la ingestión y digestión de los alimentos) depende de su composición<sup>22,76</sup>, de la vía por la que se administre<sup>76,77</sup> y de la situación basal del individuo<sup>41,78</sup>.

### Gasto energético en el niño sano

La influencia del crecimiento sobre el MB viene condicionada porque la masa del tejido muscular aumenta proporcionalmente más que la del tejido orgánico (hígado, riñones, etc.)<sup>16,17,44</sup>. Como los órganos son metabólicamente más activos que el músculo, el MB expresado en kilogramos de peso disminuye a lo largo de los años<sup>1,16,17,44,58-60</sup>.

El crecimiento supone un 35% de los RED durante los primeros 3 meses de vida<sup>1</sup>, que disminuyen progresivamente (6% a los 6 meses, 5% a los 12 meses<sup>30</sup>, 3% en el segundo año de vida<sup>1,25</sup>), y posteriormente permanece en torno al 1 o 2% hasta la adolescencia<sup>1</sup>.

En los niños, la actividad física parece consumir menos de lo estimado históricamente<sup>112</sup>. En niños de 5 años

se han encontrado porcentajes del GET debidos a la actividad física de alrededor del 16 y 17% ( $\pm 7-11\%$ )<sup>47,112</sup>.

### Gasto energético en la enfermedad

Estimar el GER en la enfermedad es difícil dada la variabilidad de las respuestas clínicas y metabólicas a los distintos niveles de gravedad<sup>1,3,72-74</sup> y a la evolución en el tiempo. El fallo cardíaco incrementa el GER<sup>75</sup> pero, simultáneamente, desciende la actividad física, con lo que los RED pueden estar descendidos<sup>2</sup>. La fiebre incrementa el GER, y en situación de diarrea es preciso considerar el incremento en las pérdidas energéticas con las heces<sup>1</sup>.

La desnutrición causa importantes diferencias en el gasto energético<sup>8,19,69,80-82</sup>. Condiciona un gasto energético menor por una disminución del GER<sup>82</sup> y un menor efecto termogénico de la dieta<sup>83</sup>. No obstante, por kilogramo de peso se ha encontrado un GET mayor en pacientes desnutridos, aun siendo el global menor, tanto en adultos<sup>80</sup> como en niños<sup>19,81</sup>. La MB se elevaría en los estadios tempranos de la rehabilitación nutricional<sup>70,71,84</sup>.

El gasto energético global de los individuos obesos es mayor al ser mayor su peso<sup>43,61,62</sup>. Sin embargo, estas personas tienen menos tejido metabólicamente activo (masa libre de grasa) por kilogramo de peso corporal<sup>42,43</sup>, y por ello pueden tener un GER menor por kilogramo de masa corporal<sup>37,42,43</sup>.

### Gasto energético en el paciente crítico

Ante cualquier estrés o agresión se establece una respuesta común a cualquier enfermedad crítica o traumatismo grave, que sólo difiere por su gravedad y duración<sup>86-91</sup>. Es un complejo proceso metabólico generalizado que aparece originado por la interacción de mediadores tisulares y del endotelio vascular, células inflamatorias y el sistema neuroendocrino<sup>79,86-88</sup>. Persigue la movilización de sustratos y energía para hacer frente a la inflamación y la reparación tisular, a expensas de la masa magra corporal<sup>86,89-91</sup>. Se caracteriza por una respuesta hiperdinámica con incremento de la temperatura corporal<sup>5,86,88-91</sup>, de la producción de CO<sub>2</sub>, del consumo de oxígeno<sup>5,86-91</sup> y glucosa, glucogenólisis, proteólisis, lipólisis, y ciclado fútil de sustratos<sup>5,86,88-91</sup>. Puede mantenerse semanas e incluso meses<sup>87</sup>. Sin embargo, la cronología de la elevación del gasto energético se ha visto altamente variable en el paciente crítico, tanto en adultos<sup>92</sup> como en niños<sup>8,9,12,14,81,89,90,93</sup>. Aunque siempre existe hipercatabolismo<sup>88,91</sup>, el hipermetabolismo como reacción a la agresión no es tan prevalente como se creía<sup>8,9,94-100</sup>; además, la respuesta al estrés en los niños no es tan marcada ni tan hipermetabólica como en los adultos<sup>8,9,96,97,100</sup>, y se demuestra hipometabolismo en muchas ocasiones<sup>8,9,14,15,93,96-100</sup>; no obstante, algunos niños críticamente enfermos presentan claras elevaciones del metabolismo energético<sup>8-10,81,93,97,101-103</sup>.

La respuesta hipermetabólica individual no es realmente predecible a través de las ecuaciones o fórmulas estándar para los sujetos normales<sup>3,8-10,12-15,20,81,89,94,96-101,103-106</sup>. El grado de hipermetabolismo o hipometabolismo del paciente crítico se determina relacionando el gasto energético predicho con el gasto energético medido (definido como índice metabólico, normal 90-110%<sup>105</sup>). Otros autores utilizan la relación entre el gasto energético preoperatorio y el gasto energético postoperatorio<sup>80</sup>.

Algunos autores han encontrado distinto gasto energético según los diagnósticos<sup>9,14,15,106</sup>, mientras que otros no lo han podido objetivar<sup>8,21</sup>. El GER no sirve como marcador biológico de gravedad, aunque algunos estudios han encontrado alguna correlación entre la gravedad de la enfermedad<sup>9,10,15</sup> y la elevación del GER<sup>5,18,90,93,103</sup>.

El gasto energético varía de día en día y está influenciado por múltiples factores: sedación (lo disminuye<sup>8,9</sup>; no está tan claro el efecto de la relajación muscular<sup>8,9,81,87,106,107</sup>), temperatura<sup>9,15,108-110</sup> (la fiebre incrementa el gasto energético<sup>9,85,109,110</sup>, la hipotermia lo disminuye<sup>109,110</sup>), ventilación mecánica (lo disminuye)<sup>12,102,111</sup>, inotrópicos (lo incrementan)<sup>8,67,94</sup>, administración de nutrición (lo incrementa<sup>8,22,106</sup>), cuidados generales (lo incrementan transitoriamente<sup>111</sup>, pero si son adecuados, el efecto global es una disminución<sup>112</sup>), etc. En los adultos desnutridos la elevación del GER con la agresión parece limitada<sup>80</sup>, no así en los niños<sup>8,9,81</sup>.

## MÉTODOS DE ESTUDIO DEL GASTO ENERGÉTICO

Las mediciones directas del GET hasta hace pocos años no han estado disponibles en la práctica clínica diaria, aunque sí en la investigación<sup>1,2</sup>. El método más usado está basado en el agua doblemente marcada<sup>1,2,113-123</sup>, considerado el patrón oro<sup>1,2</sup>. También se han empleado estudios de equilibrio energético<sup>21,85,122</sup>. Otra forma de medir el GET es mediante monitores que incorporan medidas de intercambio de calor<sup>124,125,126-131</sup>, sensores de movimiento<sup>50,51,124-147</sup>. Se acepta como índice de GET la medición de la frecuencia cardíaca minuto a minuto<sup>1</sup>.

Sin embargo, las mediciones realizadas habitualmente en la práctica clínica son mediciones del GER, generalmente por calorimetría indirecta<sup>2,3</sup>. El GER supone aproximadamente el 70% de los RED<sup>2,39</sup>, y en sujetos sanos puede oscilar entre el 45 y el 70% según la edad y el estilo de vida<sup>1</sup>. Para pacientes críticamente enfermos, el GER con frecuencia se sitúa entre el 75 y el 100% del GET<sup>148</sup>.

## Cuantificación de la actividad física

Para llegar al GET normalmente se multiplica el GER por un factor de actividad. En los niños, el comité de expertos de la ONU recomendó reducir o incrementar en un 15% los requerimientos para aquellas poblaciones menos o más activas que el promedio, ofreciendo definiciones de éstas, a partir de los 6 años de edad<sup>1</sup>. Para cuantificar la actividad física, los investigadores se han

basado históricamente en los cuestionarios *self-report*<sup>140,142,143,149,150</sup>, pero se tiende a sobreestimar la intensidad y duración de la actividad física<sup>151</sup>, y en los niños, no es valorable<sup>152,153</sup>. La observación directa es útil en pediatría<sup>140,142,151,152</sup>; se han diseñado y validado escalas específicas para categorizar su intensidad<sup>154-156</sup>; y, además, existen tablas que asignan a cada actividad un coste energético<sup>58</sup>. No obstante, la observación directa requiere mucho tiempo y habilidad por parte del observador<sup>140,142</sup> y es muy cara<sup>140,142,152-154</sup>.

Otros métodos empleados para la medición de la actividad física son los monitores de frecuencia cardíaca<sup>144-147,157-162,151,152,163</sup> e instrumentos de medida de movimiento<sup>48,49,124-147,149-154,156,163-165</sup>.

## Métodos antropométricos

La primera aproximación a la cuantificación del consumo energético la realizaron Holliday y Segar<sup>166</sup>, estableciendo unos aportes para la rehidratación intravenosa en función del peso, asumiendo que el gasto energético se equipara a la necesidad de agua (100 kcal/kg/día = 100 ml/kg/día). En realidad, todos los mamíferos necesitan 140 ml/kg/día por cada 100 kcal/kg/día. Utilizando esta equivalencia fisiológica, Darrow elaboró una tabla que aún se utiliza, aunque de forma menos extendida (tabla 1), y creó el concepto de caloría metabolizada, equivalente al actual GER<sup>167</sup>.

Se han publicado más de 200 ecuaciones<sup>43</sup>. La ecuación de Harris y Benedict<sup>32</sup> se ha utilizado con frecuencia desde su publicación (1919) para predecir el GER en individuos adultos sanos y de peso normal. Sin embargo, existen evidencias de que la frecuencia de error en la estimación del GER es alta usando esta ecuación<sup>40,41,43,69,168</sup> (por lo general, sobreestimación<sup>39,40,69,168</sup>). No es adecuada para estimar el gasto energético de individuos desnutridos<sup>69</sup>. No está adaptada a la población pediátrica, aunque se puede utilizar a partir de los 10 años de edad; Caldwell y Kennedy validaron el uso de una ecuación diseñada por Harris y Benedict para su utilización en menores de 3 años en 1981 (tabla 2)<sup>33</sup>. Fleisch<sup>34</sup> desarrolló fórmulas para el cálculo del gasto energético en función del sexo y la superficie corporal y Talbot<sup>35</sup> y Lewis et

TABLA 1. Propuestas de aporte calórico en niños de Holliday<sup>166</sup> y Darrow<sup>167</sup>

	Peso corporal (kg)	Aporte calórico (kcal/kg/día)
Holliday	3-10	100
	11-20	50
	> 20	20
Darrow	< 3 kg	47 ± 4
	3-10	70 ± 5
	11-15	57 ± 4
	16-25	45 ± 4
	26-35	37 ± 3

**TABLA 2. Fórmulas predictivas más usadas en niños para el cálculo del gasto energético en reposo (kJ/24 h)**

Autor(es)	Fórmula
<b>Lactantes (&lt; 2 años)</b>	
Caldwell y Kennedy <sup>33</sup>	$22 + (31,05 \times P) + (1,16 \times A)$
<b>Niños</b>	
Varones	
Fleisch <sup>34</sup> 1-12 años	$24 \times SC \times [54 - (0,885 \times E)]$
Fleisch <sup>34</sup> 13-19 años	$24 \times SC \times (42,5 - [0,643 \times (E - 13)])$
Schofield <sup>37</sup> < 3 años	$(0,0007 \times P) + (6,349 \times A) - 2,584$
Schofield <sup>37</sup> 3-10 años	$(0,082 \times P) + (0,545 \times A) \times 1,736$
Schofield <sup>37</sup> 11-18 años	$(0,068 \times P) + (0,574 \times A) + 2,157$
Mujeres	
Fleisch <sup>34</sup> 1-12 años	$24 \times SC \times (54 - [1,045 \times E])$
Fleisch <sup>34</sup> 13-19 años	$24 \times SC \times (42,5 - [0,778 \times (E - 11)])$
Schofield <sup>37</sup> < 3 años	$(0,068 \times P) + (4,281 \times A) - 1,730$
Schofield <sup>37</sup> 3-10 años	$(0,071 \times P) + (0,677 \times A) \times 1,553$
Schofield <sup>37</sup> 11-18 años	$(0,035 \times P) + (1,9484 \times A) + 0,837$
<b>Adultos</b>	
Varones	
Harris y Benedict <sup>32</sup>	$66 + 13,8 \times P + 5 \times A - 6,8 \times E$
Mujeres	
Harris y Benedict <sup>32</sup>	$655 + 9,5 \times P + 1,9 \times A - 4,7 \times E$

Las ecuaciones de Schofield dan los resultados en MJ. 1 MJ = 1.000 kJ; 1 kJ = 4,184 kcal.

A: altura en m; E: edad en años; P: peso en kg; SC: superficie corporal.

al<sup>36</sup> diseñaron tablas de gasto energético en niños. En 1985, Schofield evaluó los datos de 114 estudios sobre gasto energético y publicó otras ecuaciones para niños y adultos (tabla 2). También en la edad pediátrica se han encontrado sobreestimaciones del gasto energético con las fórmulas predictivas<sup>47,51,53,169</sup>. En general, la fórmula de Schofield<sup>37</sup> se ha encontrado como la más eficaz<sup>49,169,170</sup>.

Las ecuaciones predictivas anteriormente citadas se utilizan habitualmente para el tratamiento clínico de niños enfermos, cuando en realidad fueron diseñadas para estimar las necesidades de niños sanos en su vida cotidiana y con un nivel normal de actividad física<sup>170</sup>, por lo que no son adecuadas para el cálculo de los requerimientos energéticos en situación de enfermedad<sup>8-10,12,14,20,81,89,96-100</sup>. El número de casos en estos estudios ha sido limitado, salvo algunos con más de 40 niños<sup>12,14,15,81,106</sup>. En general, se ha encontrado que las fórmulas sobreestiman el gasto energético<sup>8,9,14,81,96,99,100</sup>, aunque también se han encontrado infraestimaciones<sup>9,10,15,97</sup>. Tampoco se ha visto *a posteriori* que sean útiles<sup>14</sup> fórmulas diseñadas para niños con ventilación mecánica<sup>15</sup>. Las dificultades de medir el peso corporal en el paciente críticamente enfermo introducen más incertidumbre aún en las estimaciones basadas en características antropométricas<sup>2,6,9,105</sup>. Para intentar aproximarse a las demandas energéticas en estas situaciones, se publicaron para adultos coeficientes de estrés<sup>5,94</sup>, y se

encontraron sobreestimaciones con su uso<sup>94,103</sup>. En niños también se han empleado las predicciones por Harris y Benedict<sup>8,81,97,101</sup> y Schofield<sup>8,97</sup> con distintos coeficientes de estrés (1,3<sup>101</sup>, 1,5<sup>97</sup> y los dos anteriores<sup>87</sup>); igualmente se han objetivado sobreestimaciones del gasto energético<sup>81,101</sup>.

### Método del agua doblemente marcada

Esta técnica está considerada una de las más exactas a la hora de medir el gasto energético en individuos viviendo libremente<sup>1,113,118</sup>. Como se ha indicado, proporciona un patrón oro desde el que medir la exactitud de otras técnicas a la hora de estimar el GET<sup>1,48,49,57,58,61,113,128,147,158-162</sup>. Fue validada en seres humanos a principios de la década de 1980<sup>113,119</sup>. Se ha objetivado una buena correlación de este método con la calorimetría indirecta tanto en adultos<sup>120,121</sup> como en lactantes y niños<sup>122,123,171</sup>. Puede proporcionar, además, información precisa del gasto energético por actividad física<sup>1,45,48,49,52,57,58,61</sup>, de las tasas de producción de CO<sub>2</sub><sup>128,131</sup>, de la ingesta de agua y de las pérdidas insensibles<sup>113,122</sup>. No obstante, el relativo alto precio del agua oxígeno-18<sup>115,126,128,131,142,160</sup> (una dosis dura generalmente 14 días y cuesta aproximadamente 800-1.000 euros), la necesidad de un espectrómetro de masas<sup>26,58,113-115,118-123,128,159</sup> y el alto nivel de experiencia técnica requerido<sup>160</sup> han limitado la extensión del uso de este método a la investigación clínica. Igualmente, la duración prolongada de los estudios y el que no existan preparados de isótopos intravenosos limita su utilización en pacientes críticos.

La técnica requiere la administración oral (dosificación según el peso) de agua marcada con isótopos estables (no radiactivos), <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub><sup>18</sup>O, y la medición de su contenido en muestras biológicas (p. ej., orina) a lo largo del tiempo. La medición se basa en el equilibrio de las moléculas de oxígeno en el agua corporal y en el CO<sub>2</sub> espirado. Puesto que el <sup>18</sup>O se elimina como agua y como CO<sub>2</sub>, mientras que el <sup>2</sup>H (deuterio) sólo como agua, la diferencia en las concentraciones de <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub><sup>18</sup>O expresa la producción de CO<sub>2</sub><sup>113-118</sup>. La producción de CO<sub>2</sub> es un índice de los RED, y éstos se calculan mediante ecuaciones respirométricas clásicas (ecuación de Weir y adaptaciones de ésta) a partir de la composición de la dieta<sup>172,173</sup> (v. Anexo).

Esta técnica proporciona información acerca del GET promedio y de los patrones de actividad física en un período de 7-14 días, pero no valora variaciones rápidas en el gasto energético ni informa del patrón de actividad física a lo largo de cada período de 24 h<sup>1,161</sup>. La máxima precisión se ha encontrado con períodos de 6 a 7 días en el neonato y el niño y de 14 en el adulto<sup>115,117</sup>. La precisión es adecuada si la duración del estudio está entre 0,5 y 3 vidas medias biológicas del <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O<sup>117</sup>. Dos vidas medias biológicas suponen 3-14 días en neonatos (5 días<sup>121</sup>) y niños y en torno a 14-28 en adultos<sup>115</sup>.

## Calorimetría

### Calorimetría directa

Está considerada el patrón oro para la determinación del GET en el laboratorio<sup>157</sup>. Proporciona una determinación del gasto energético mediante la medición de la producción de calor en un ambiente cerrado<sup>6,168</sup>. Permite computar las pérdidas de calor por radiación, convección y evaporación. Estudios realizados con fuentes de calor secas y húmedas mostraron una precisión del 1 o 2% con este método, del 3% en un estudio clínico respecto a la calorimetría indirecta<sup>168</sup>. Aunque es un método excelente para medir el gasto energético, es una técnica extremadamente cara<sup>6</sup>. El coste de una cámara metabólica es aproximadamente de 350.000 euros y requiere personal especializado.

### Calorimetría indirecta

Es la utilizada habitualmente en la práctica clínica para mediciones del GER<sup>2,3</sup>. Aunque la calorimetría indirecta permite la medición del gasto energético de forma repetida, sin ser invasiva<sup>2,3</sup>, no puede usarse fácilmente para medir a sujetos durante su vida cotidiana<sup>127</sup>.

Es el método de elección para los niños críticamente enfermos, aunque no puede medir el gasto energético en todos ellos por razones técnicas que se comentarán más adelante<sup>6,8,9,14,15,99,107,174-176</sup>. Los calorímetros portátiles no siempre están disponibles en muchos centros<sup>15</sup>. Si lo están, requieren validación y personal experto en su tratamiento<sup>15,177</sup>. Su precio (20.000-100.000 dólares) es el mayor inconveniente en su uso para la monitorización<sup>6</sup>, y hasta el momento no se ha demostrado un efecto claramente favorable de la calorimetría indirecta, ni en la situación general ni en la mortalidad del paciente crítico<sup>178</sup>, y ni siquiera en el balance nitrogenado o el peso<sup>178,179</sup>.

### Fundamentos teóricos

La calorimetría indirecta mide, mediante el análisis de los gases inspirados y espirados, el consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ) y la producción de  $\text{CO}_2$ , y permite calcular la cantidad de energía producida en el organismo<sup>2-4,6,180</sup>, mediante fórmulas como la de Weir<sup>172</sup>:

$$\begin{aligned} \text{Gasto energético} &= \\ &= 3,94 \text{ VO}_2 + 1,106 \text{ VCO}_2 - 2,17 \text{ nitrógeno urinario} \end{aligned}$$

Es necesario asumir que este intercambio gaseoso se destina exclusivamente a la degradación oxidativa de sustratos<sup>2-4,6,177,180</sup>. Las vías metabólicas que no utilizan oxígeno (p. ej., la glucólisis anaerobia) no aparecen reflejadas<sup>178</sup>. Es necesario asumir también que el nitrógeno producido en la oxidación proteica es recuperado por completo en la orina<sup>181</sup> o añadir el nitrógeno eliminado por pérdidas insensibles (5-8 mg/kg en niños)<sup>182</sup>. No obs-

tante, en el cómputo total del gasto energético por la fórmula de Weir, la importancia del nitrógeno urinario es pequeña<sup>3</sup>. Sin la medición del nitrógeno urinario, el gasto energético se modificaría sólo en  $< 1^{171}-2\%^{29,116}$ , calculándose según la ecuación<sup>172</sup>:

$$\begin{aligned} \text{Kcal/min} &= \text{O}_2 \text{ (l/min)} \times [3,9 + (1,1 \times \text{RQ})] \\ \text{RQ} &= \text{VCO}_2/\text{VO}_2 \end{aligned}$$

Hay situaciones clínicas en que las mediciones no son válidas: períodos de compensación de acidosis metabólica o alcalosis, hipoventilación, inestabilidad hemodinámica<sup>174</sup>, hemodiálisis (al no tenerse en cuenta la eliminación de  $\text{CO}_2$  a través del dializado)<sup>183</sup>.

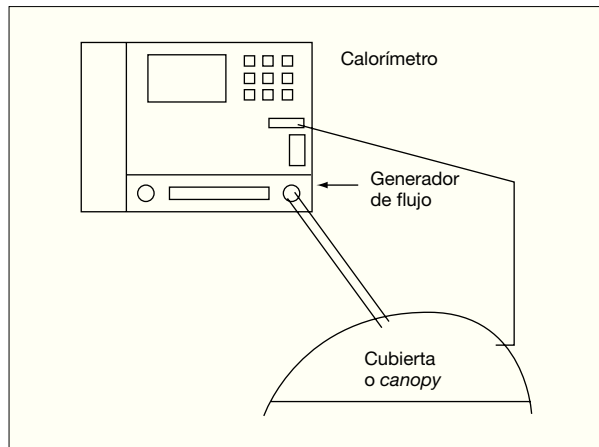
### Usos clínicos

**Medición del GER.** Las mediciones hechas habitualmente en clínica son mediciones del GER, que se deben realizar en una sala a oscuras<sup>29</sup> (tras haber descansado 8 h en el domicilio<sup>1,27-29,38-40,43,44,61</sup> y 15<sup>31</sup> o 30<sup>1,27-29,38-40,43,44,61</sup> min en el laboratorio) y en decúbito supino porque la simple actividad muscular de mantenerse sentado puede incrementar el consumo energético en un 8%<sup>29</sup>. Para eliminar la termogénesis inducida por la dieta, se exige un período de ayuno de 12 h<sup>1,27-29,38-40,43,44,53</sup>, si bien algunos autores consideran suficiente un ayuno de 2 h para la medición del GER<sup>158,159</sup>. Si no se seda al paciente o no se suspende la alimentación, la calorimetría refleja el gasto energético en ese momento, no el GER. Van Lanschot et al<sup>94</sup> consideraron los valores de gasto energético medidos por calorimetría en UCI como GET, pero otros autores han añadido factores de actividad, aun estando el paciente sometido a ventilación mecánica<sup>5,97,101</sup>.

**Otras utilizations clínicas.** Midiendo el consumo de oxígeno se puede estimar de forma indirecta las calorías quemadas durante actividades específicas<sup>122,147</sup> (mediante la ecuación de Fick:  $\text{kcal} = \text{VO}_{2\text{máx}} \text{ [l/min]} \times 4,825 \text{ [kcal/lO}_2\text{]}$ )<sup>180</sup>. Así, la intensidad del ejercicio aeróbico se relaciona con el consumo máximo de oxígeno realizado generalmente en una cinta rodante o una bicicleta estática<sup>57</sup>.

La calorimetría indirecta permite la medición de la utilización de sustratos, asociando los valores de nitrógeno ureico<sup>2,3,168,181</sup>. Se determina el nitrógeno ureico en orina de 24 h, al que habría que añadir el nitrógeno urinario no ureico (es el 10% del nitrógeno urinario<sup>182,184</sup>; en niños se estima en 55 mg/kg/día<sup>182</sup>), el N de las pérdidas insensibles<sup>182</sup>, y en especial si existe insuficiencia renal, los cambios en el *pool* de nitrógeno ureico ( $\text{Nu no eliminado [mg]} = [\text{BUN}_2 - \text{BUN}_1] \times 10 \times [0,6 \times \text{peso}]$ )<sup>184</sup>. El RQ puede ayudar a valorar si es adecuada la nutrición<sup>11</sup> y su efecto respiratorio<sup>4</sup>.

La calorimetría indirecta permite también la medición del gasto cardíaco y del espacio muerto respiratorio



**Figura 1.** Esquema de conexiones en la respiración espontánea.

(Vd/Vt) si se cuenta con medición de gases en sangre arterial y venosa<sup>185</sup>.

Para algunos autores, la calorimetría indirecta es una herramienta útil a la hora de predecir el éxito del destete de la ventilación mecánica, valorando la elevación de  $\text{VO}_2$  que se produzca<sup>186</sup> (otros autores han argumentado que esta elevación podría deberse también a una elevación de catecolaminas y no sólo a un mayor trabajo de los músculos respiratorios<sup>187</sup>).

### Técnicas

**Calorimetría de circuito cerrado.** Se respira en un circuito cerrado una mezcla de gases a la que se ha añadido oxígeno en concentración conocida. El  $\text{CO}_2$  que sale se extrae y mide, de tal forma que el aire sirve para ser respirado de nuevo<sup>188</sup>. Se han encontrado problemas de sobreestimación con esta técnica<sup>1</sup>, y es muy sensible a fugas<sup>141</sup>. La ventaja es que no requiere medición de concentración ni de flujo de oxígeno<sup>189</sup>. Se ha empleado en investigación<sup>135,189</sup>.

**Calorimetría de circuito abierto.** Requiere una medición exacta del volumen y flujo respiratorios y de las fracciones inspiradas y espiradas de oxígeno y  $\text{CO}_2$ <sup>3,4,179,180,183</sup>. Todos los calorímetros están equipados para medir las concentraciones de oxígeno y  $\text{CO}_2$  en los gases espirados, así como el flujo del aire espirado, la temperatura, la presión barométrica y el tiempo. Se utilizan sensores de oxígeno electroquímicos<sup>120</sup> (polarográficos<sup>168,174</sup>) o paramagnéticos, que aprovechan la mayor susceptibilidad magnética del oxígeno respecto a otros gases<sup>26,57,85,158-160,188,189</sup>. El  $\text{CO}_2$  se suele medir por absorción de infrarrojos<sup>26,57,120,122,158-160,177,186,188,189</sup>. Los sensores de flujo más habitualmente usados son neumotacógrafos<sup>60,61,88,148,168,171</sup>, turbinas<sup>134,174</sup>, anemómetros de hilo caliente o medidores de flujo ultrasónico. No obstante, la mayoría de los instrumentos se hacen progresivamente menos exactos

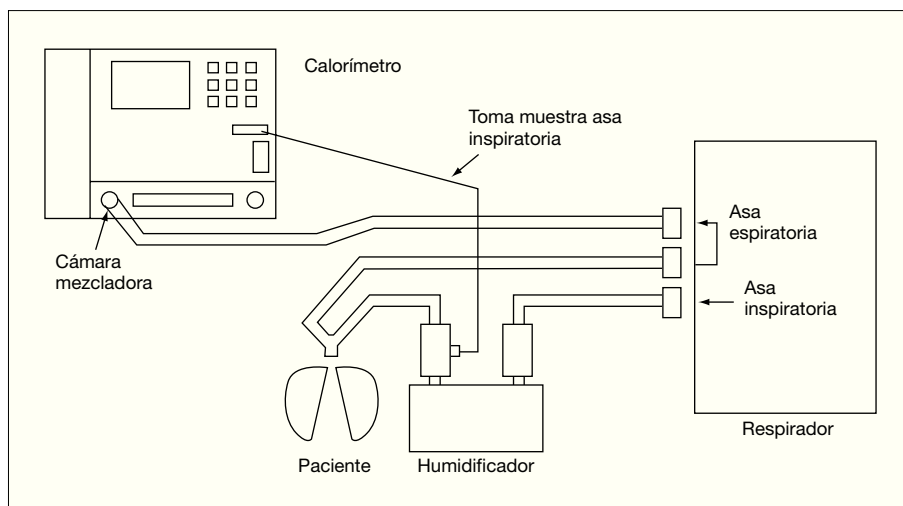
cuando la fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) se eleva por encima del 50 al 60%<sup>6</sup>. Las fluctuaciones en la  $\text{FiO}_2$  parecen menores cuando el oxígeno proviene de una bombona en lugar de proceder de una toma general de pared<sup>188</sup>.

Los calorímetros se calibran con el test de combustión de etanol y utilizando mezclas de concentración de oxígeno y  $\text{CO}_2$  conocidas<sup>29,188</sup>. Han de tenerse en cuenta, además, las condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica<sup>29,175,176,188,189</sup>.

**Utilización en respiración espontánea.** En respiración espontánea, el uso del sistema requiere el empleo de cubiertas sobre la cabeza del paciente que se sellan sobre el pecho y los hombros<sup>26,30,40,52,85,188</sup> (fig. 1) o de una mascarilla y/o una pieza bucal con una pinza nasal<sup>39,40,48,62,69,133,134,158,161,189</sup> (con sistema de no reinhalación)<sup>158,159,189</sup> durante todo el período de estudio. La diferencia entre ambos sistemas se ha observado en menos del 1%<sup>40</sup>, aunque las piezas bucales o mascarillas pueden causar ansiedad<sup>159</sup> (mal toleradas en niños pequeños), artefactándose los resultados por los cambios en el patrón respiratorio. Las cubiertas reciben el nombre de *canopy*<sup>30</sup> y se fabrican de policarbonato transparente. Existen diferentes tamaños de *canopy*: neonatal, pediátrico (3-20 kg) y para adultos. El *canopy* tiene una entrada de aire con un flujo constante de 12 l/min para niños menores de 20 kg y de 30-40 l/min para mayores, donde se monitorizan los gases inspiratorios y una salida por donde se extrae el aire<sup>26,33</sup>. El flujo ha de ser constante y suficiente para evitar el *rebreathing*<sup>120,188</sup>, por lo que para el test de esfuerzo ha de ser mayor (se han utilizado flujos de 100 l/min en adultos)<sup>120</sup>. Debe retirarse el vapor de agua de los circuitos para evitar errores<sup>85</sup>. Las fugas de aire pueden producir errores de un 3% en las mediciones. En caso de utilizarse un *canopy*, ha de esperarse un tiempo para que se equilibren los gases en su interior (20, 25 y 30 min en estudios en niños de 2, 1, y 0,5 kg). Se ha validado la realización de calorimetría en lactantes pretérmino con aportes de  $\text{FiO}_2$  de hasta 0,4 en *canopy*<sup>188</sup>.

**Utilización en ventilación mecánica.** Se analiza la  $\text{FiO}_2$  en la rama inspiratoria<sup>9,15,188</sup> y el volumen espirado y gases ( $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ ) en la rama espiratoria (fig. 2). Es aconsejable conectar la toma distal al humidificador que sirve como cámara mezcladora de gases, asegurando una  $\text{FiO}_2$  más constante<sup>14</sup>, y alejada del tubo endotraqueal para evitar mezclas con gases espirados. La  $\text{FiO}_2$  no debe ser mayor de 0,6<sup>8,9,15,98,174,188</sup>.

Para que las mediciones representen de forma válida y fiable el consumo energético de 24 h, el paciente debe hallarse en equilibrio estable<sup>6,177</sup>; éste se obtiene cuando la variabilidad del  $\text{VO}_2$  y del  $\text{VCO}_2$  es inferior al 5%<sup>38,43,174,179-10</sup> y la del RQ está por debajo del 5%<sup>103,108</sup> durante al menos 30 min<sup>108,179</sup>. Para



**Figura 2.** Esquema de conexiones en la ventilación mecánica.

otros investigadores, 5 min de esta situación serían suficientes<sup>36,73,108,149,175,179</sup>, también en pacientes críticos<sup>108,179</sup>; esta duración se ha validado en estos últimos<sup>190</sup>. Otros autores emplean un período de estabilización de 10 min<sup>9</sup>.

En 1 h se intercambian aproximadamente 15 l de CO<sub>2</sub> y oxígeno, cuyos depósitos corporales son de 20 y 1 l, respectivamente, por lo que si la medición dura menos de 1 h, el error puede ser del 10% para la VCO<sub>2</sub> y del 1% para el VO<sub>2</sub><sup>191</sup>. Sin embargo, la mayoría de estudios en niños usan mediciones de 20<sup>51,59,97</sup> a 30 min<sup>14,15,31,45,48,61,176</sup>. Algunos trabajos han empleado 45 min<sup>9,44,53,60</sup>. Un estudio en nuestro servicio demostró que las mediciones de 30 min en la UCIP se correlacionan bien con las mediciones de 24 h seguidas<sup>14</sup>. La mínima duración publicada en series de niños (sanos) es de 15 min, con la que se obtuvo una buena reproducibilidad en dos mediciones ( $r = 0,87$ )<sup>52</sup>. Algunos estudios en niños utilizan la media de dos estudios como valor definitivo del GER<sup>45</sup>.

Los coeficientes de correlación encontrados para mediciones repetidas del GER en niños han sido altos<sup>47,50,55</sup>. En el paciente críticamente enfermo se acepta una variabilidad en el día menor de un 7-10% según la duración del estudio<sup>103,108,176,190</sup>.

La cuantificación de gases en el asa inspiratoria supone una pérdida de volumen que puede producir hipoventilación en niños con volúmenes tidales bajos. Es preciso, por lo tanto, asegurarse de que los volúmenes ventilatorios siguen siendo suficientes tras la colocación del calorímetro. No deben emplearse nebulizaciones durante el período de estudio<sup>174</sup>, ni otros gases distintos al oxígeno, nitrógeno o CO<sub>2</sub> en el circuito<sup>8,14,15</sup>.

Las fluctuaciones en la FiO<sub>2</sub> parecen menores en volumen control que en ventilación mecánica intermitente (IMV)<sup>173</sup>. Se han realizado mediciones con respiradores de flujo continuo<sup>188</sup>, si bien se requieren analizadores de oxígeno y CO<sub>2</sub> especialmente sensibles y precisos; la mayoría de calorímetros comercializados<sup>98</sup> no cumple estas

características. La asociación de presión positiva telespiratoria mayor a 5<sup>103</sup> o 10<sup>174</sup> cmH<sub>2</sub>O o altas presiones inspiratorias o presiones medias elevadas pueden dificultar también las mediciones, al poder modificar el intercambio gaseoso. Asimismo, variaciones en la temperatura y la humedad pueden condicionar errores<sup>189,183</sup>.

Las fugas alrededor del tubo endotraqueal son frecuentes en niños, sobre todo debido al uso de tubos sin balón. En caso de existir fugas, éstas pueden alterar considerablemente (hasta un 45%<sup>192</sup>) los resultados<sup>98,192,193</sup>, aunque para algunos autores no parecen hacerlo si no son audibles y son menores del 20%<sup>193</sup> (se considera que una fuga no es audible si no supera el 7,5% del volumen tidal<sup>188</sup>). Muchos estudios no han tenido en cuenta las fugas<sup>20,93,97</sup> o sólo han realizado estudios en niños con tubos con balón<sup>8,99,107</sup> o incluyendo niños con una diferencia inferior al 5%<sup>9</sup> o al 10%<sup>14,15</sup> o al 15%<sup>8</sup> entre el volumen tidal inspiratorio y espiratorio.

### Estudios de balance energético

Consisten en la cuantificación de la ingesta energética diaria junto con mediciones de pérdida o ganancia de peso. Se han usado como método de referencia para comparar otras técnicas de medición del GET<sup>21,85,122,157</sup>. Requieren una exhaustiva recopilación de todos los aportes energéticos y un período de estudio suficiente para poder detectar cambios en los depósitos corporales<sup>157</sup>. Estos estudios también se han empleado en UCIP<sup>21</sup>.

### Otros métodos de cuantificación del gasto energético

#### Monitorización de la frecuencia cardíaca

Es sencilla<sup>161,163</sup>, barata y bien aceptada por los niños, y es posible su aplicación a gran escala<sup>161</sup>. Normalmente la relación frecuencia cardíaca-gasto energético se describe como lineal<sup>157,160</sup>, también en niños<sup>151</sup>, sobre todo entre

frecuencias de 110 a 150 lat./min<sup>163</sup>, pero no existe evidencia de que esta relación sea fuerte durante períodos de niveles bajos o muy altos de actividad<sup>157,161,163</sup>. Además, la relación entre la frecuencia cardíaca y el gasto energético es única para cada individuo y existen múltiples factores que pueden alterarla (ansiedad, medicamentos, etc.)<sup>151,152</sup>, lo cual cuestiona su efectividad como medida aislada<sup>160</sup>. No obstante, la monitorización de la frecuencia cardíaca se ha empleado también para medir el gasto energético en condiciones de enfermedad<sup>95,162</sup>.

La monitorización de la frecuencia cardíaca puede ayudar, además, a identificar la frecuencia, intensidad y duración del patrón diario de actividad física<sup>158,160</sup>. A su vez, la relación entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardíaca está influenciada por la proporción de masa muscular activa y por el carácter continuo o intermitente de la actividad. El nivel de entrenamiento físico de los niños es otro factor limitante<sup>144,194,195</sup>: un niño entrenado tiene un volumen de eyección mayor y, por ello, una frecuencia cardíaca más baja para cualquier actividad y una respuesta menor al ejercicio<sup>194</sup>.

En conjunción con otros datos, la monitorización de la frecuencia cardíaca ha demostrado mejorar las estimaciones de algunos modelos predictivos<sup>51,95</sup>.

**Método FLEX-HR.** Este método se desarrolló para combatir los factores individuales en la relación frecuencia cardíaca-gasto energético y actividad física<sup>152</sup>. El FLEX-HR crítico se define como la frecuencia cardíaca que discrimina entre frecuencia cardíaca en reposo y durante el ejercicio en ese individuo<sup>161</sup>. Este valor se obtiene a partir de la elaboración de curvas de regresión para la frecuencia cardíaca frente al  $VO_2$  en reposo y durante distintas actividades en el laboratorio<sup>159-161</sup>. Luego se realizan registros minuto a minuto de la frecuencia cardíaca en condiciones reales<sup>1,160,161</sup>. En la parte del día en que la frecuencia cardíaca se encuentra por encima del FLEX-HR<sup>159,161</sup> se calcula el gasto energético con la ecuación de regresión obtenida en las actividades de alta intensidad durante el procedimiento de calibración<sup>157</sup>. Las relaciones entre frecuencia cardíaca y  $VO_2$  pueden diferir en condiciones reales por factores no controlados en los protocolos de calibración (temperatura ambiental, fármacos, variaciones día a día en la relación frecuencia cardíaca- $VO_2$ <sup>163</sup>, postura, intensidad de la actividad muscular, fatiga, estado posprandial, etc.). Los niños muestran una inclinación natural hacia patrones de actividad física intensa de inicio brusco y corta duración<sup>161,151</sup>, contrarios al ejercicio estandarizado empleado para la calibración de este método<sup>161</sup>.

Como única medida, diversos estudios han encontrado mediante el método FLEX-HR (descrito a continuación) valores medios de GET comparables con los valores medios obtenidos por agua doblemente marcada<sup>159,161,162</sup> o calorimetría<sup>158</sup>, por lo que el último informe de la

FAO/OMS/ONU utilizó estudios realizados con este método<sup>1</sup>. Pero aunque su correlación es buena para comparaciones de grupo, muestra falta de precisión a nivel individual<sup>158,161,162</sup>.

### **Temperatura corporal central**

La temperatura corporal central se ha usado en condiciones de laboratorio para estimar el GET. Bajo condiciones muy controladas, existe una relación estrecha entre la temperatura corporal central y el GE<sup>196</sup>. En las condiciones de la clínica habitual, sin embargo, no se ha visto que muestre buena correlación con el gasto energético<sup>95,197</sup>. Sin embargo, cuando se combina con otras herramientas de medida del gasto energético, puede añadir una dimensión valiosa, por lo que se ha incluido como variable en varias ecuaciones de regresión<sup>15,110</sup>. Por su naturaleza invasiva, la temperatura corporal central es impracticable para estudiar individuos en condiciones de vida normales.

### **Medición del flujo de calor**

La producción y pérdida de calor es producto del metabolismo y, por ello, la medición de la pérdida de calor mediante un sensor de flujo de calor se ha sugerido como un indicador preciso del total de calorías corporales quemadas. Aunque su correlación con el gasto energético como variable independiente es insuficiente para predecir el gasto energético (sí se ha visto una buena correlación de la temperatura cutánea con  $VO_2$  y  $VCO_2$  durante la actividad física), su medición puede mejorar la estimación del gasto energético usada en combinación con otros parámetros<sup>126,128,130,131</sup>. En los últimos años se han desarrollado y comercializado dispositivos que incorporan un sensor de flujo de calor en monitores que estudian varios parámetros simultáneamente (flujo de calor, acelerometría, respuesta galvánica de la piel, temperatura cutánea, temperatura cercana al cuerpo, y algunos, además, frecuencia cardíaca) y los convierten en gasto energético mediante ecuaciones de regresión. Ejemplos son el monitor SenseWear Pro Armband (BodyMedia Inc., Pittsburgh, PA; tabla 3) y el HealthWear Armband (Roche Diagnostics, Indianapolis, IN). Miden la diferencia de temperatura entre dos sensores, uno situado en contacto con la piel y otro en el lado del monitor expuesto al ambiente. Del total de la energía térmica disipada registran específicamente la parte correspondiente a la convección de calor. Se colocan sobre el brazo, entre la piel y el lado del Armband expuesto al ambiente<sup>126,128,130,131</sup>. La localización en el brazo se prefiere otras como la frente o el tronco. Localizaciones más periféricas, como las muñecas, manos, dedos y pies, están sujetas a una excesiva movilidad y cambios vasculares periféricos frecuentes. Estos monitores se han empleado tanto en sujetos sanos como enfermos<sup>124,125,128-131</sup>, aunque no en situaciones críticas.



TABLA 3. Modelos comerciales de acelerómetros usados en niños

<b>Actigraph</b>		
Model 7164, Shalimar, FL; MTI Actigraph, Fort Walton Beach, FL (antiguamente llamado MTI/CSA) <sup>126,133,138,139,141,143,149,156</sup>	Dirección	Uniaxial. Plano vertical
Muchos estudios en niños <sup>138,139,141,143,149,156</sup>	Emplazamiento	Línea media o cadera <sup>141,149</sup> . Pierna <sup>126,141</sup> . Cintura escapular en posición axilar anterior <sup>1</sup>
	Resistencia al agua	No
	Intervalos	Mínimo 1 s. Usados 15 s <sup>156</sup> -1 min <sup>141,149</sup>
	Peso	85 g
	Coste	819,00 el lector; 350,00 la unidad
<b>Actiwatch</b> (nueva versión Actical) <sup>141,154,193</sup>		
Estudios en niños <sup>141,154</sup>	Dirección	Omnidireccional <sup>141</sup> . Triaxial <sup>154</sup>
	Emplazamiento	Cadera y pierna <sup>141</sup> . Rodeando cintura, monitor en base de columna lumbar <sup>154</sup>
	Resistencia al agua	Sí (nueva versión)
	Intervalos	Usado 1 min <sup>141,154</sup>
	Peso	16,5 g
	Coste	725,00 lector; 500,00 <i>software</i> ; 450,00 por unidad
<b>Wam</b> (versión más pequeña del Actigraph [modelo 7164, Computer Science Applications, Shalimar, FL]) <sup>48,49,133,138-140,164</sup>		
Estudios en niños <sup>48,49,138-140</sup>	Dirección	Uniaxial
	Emplazamiento	Muñeca <sup>138</sup> , cadera <sup>140</sup> . Parte baja de la espalda <sup>48,49</sup>
	Resistencia al agua	No
	Intervalos	1 s-1 min
	Peso	43 g (5,1 × 3,8 × 1,5 cm)
<b>Caltrac</b> <sup>136,137,141,142,151,153,164,195</sup> (ahora CTI, Stay Healthy)		
Muchos estudios en niños <sup>29,137,141,142,151,153,195</sup>	Dirección	Vertical
	Emplazamiento	Muñeca, cadera o parte baja de la espalda <sup>164</sup>
	Resistencia al agua	No
	Intervalos	?
	Peso	78 g
	Coste	99,95 por unidad
<b>TriTrac-R3D</b> <sup>126,135,136,140,142,144,152,164</sup>		
(Professional Products Inc., Madison, WI)	Dirección	Triaxial
Estudios en niños <sup>140,142</sup>	Emplazamiento	Cadera <sup>135</sup> . Cintura escapular en posición axilar medial <sup>126</sup>
	Resistencia al agua	No
	Intervalos	Usado de 1 min <sup>142</sup>
	Peso	170 g (11,1 × 6,7 × 3,2 cm)
	Coste	500,00 el nuevo producto RT3
<b>RT3</b>		
Triaxial Research Tracker	Dirección	Triaxial
(Stayhealthy Inc., Monrovia, CA) <sup>126</sup>	Emplazamiento	Cintura escapular en posición axilar anterior o medial
Es la nueva versión del anterior	Resistencia al agua	
	Intervalos	1 s-1 min
	Peso	Aprox. 1/3 de TriTrac
	Coste	500,00
<b>SenseWear Armband</b> (BodyMedia Inc., Pittsburgh, PA) <sup>126,127,130,131</sup>		
Contiene acelerómetro, monitor de frecuencia cardíaca y <i>termocoupler</i>	Dirección	Biaxial
Estudios en niños <sup>125</sup>	Emplazamiento	Parte posterior <sup>126</sup> o lateral <sup>131</sup> del brazo derecho (izq <sup>126</sup> ) en posición humeral media <sup>126,127,131</sup>
	Resistencia al agua	No (escasa)
	Intervalos	1 min <sup>126,131</sup>
	Peso	85 g (85,3 mm × 53,4 mm × 19,5 mm)
	Coste	Aprox. 1.000

### Sensores de movimiento

**Podómetros.** Son sensores de movimiento que miden los pasos dados y los convierten a gasto energético mediante ecuaciones de regresión<sup>144</sup>. Aunque en teoría no informan de otra actividad que no sea los pasos dados, Sequeira et al<sup>165</sup> demostraron que los podómetros podrían diferenciar entre varios niveles de actividades ocupacionales en adultos (sedestación, bipedestación). Sin embargo, el trabajo intenso no es distinguido del moderado, pues el primero contiene una gran proporción de trabajo estático, imposible de medir con un podómetro<sup>144</sup>.

**Acelerómetros.** Un acelerómetro es un tipo de sensor de movimientos capaz de detectar aceleración y desaceleración en una o más direcciones<sup>49,126,164</sup>, al generarse dentro del sensor una corriente eléctrica proporcional al grado de aceleración producido<sup>126</sup>. Mediante curvas de regresión (que incluyen generalmente las características antropométricas, edad y sexo del individuo) convierten la aceleración detectada en calorías<sup>127,131,135</sup>. Los acelerómetros se desarrollaron originalmente en 1976 por el National Institute of Health en un intento de simplificar la medición del gasto energético durante la actividad física, pero la validez y fiabilidad del prototipo inicial nunca

fueron documentadas<sup>132</sup>. Se han empleado para medir la actividad física y el GET en sujetos en condiciones de vida normales<sup>48,49,124,125,128-131,156,195</sup>. Generalmente son ligeros, apenas dificultan las actividades normales y son capaces de registrar datos de forma continuada durante largos períodos de tiempo<sup>127</sup>. En la tabla 3 se muestra una descripción breve de varios modelos existentes en el mercado, y se citan algunos estudios realizados con ellos. Un acelerómetro uniaxial mide la aceleración en el plano vertical<sup>130,136</sup>, mientras que los acelerómetros biaxiales y triaxiales son sensibles a los movimientos en dos y tres dimensiones, respectivamente<sup>126,134,136,143</sup>. Un acelerómetro triaxial puede ser más sensible al mayor rango de movimientos de los niños<sup>143</sup>. Sin embargo, las diferencias entre acelerómetros se han atribuido a la precisión de sus ecuaciones más que a los monitores en sí<sup>136</sup>.

Muy usada en niños<sup>49</sup>, sobre todo en estudios de obesidad<sup>48,156</sup>, existe un incremento progresivo en el uso de la acelerometría como método de estudio en niños enfermos<sup>125,195</sup>, al igual que en adultos<sup>124,128-130</sup>. Existen múltiples estudios de validación realizados con estos monitores<sup>126-131,133-136,147,164</sup>, también en niños<sup>137-144,149,152-154</sup>, que muestran buena correlación con el gasto energético medido por calorimetría indirecta<sup>126,127,129,130,131,133-137,139,141,142,144,147</sup>, o agua doblemente marcada<sup>128,138,164</sup>. Para la medición de la actividad física se correlacionan adecuadamente con la frecuencia cardíaca<sup>140</sup>, cuestionarios<sup>143,149</sup> u observación directa<sup>143,153,154</sup>. A pesar de que la OMS juzga que las estimaciones del GET mediante agua doblemente marcada han sustituido en gran parte a las basadas en métodos calorimétricos o sensores de movimiento, considera estos últimos todavía útiles, dada la incapacidad del primero para proporcionar estimaciones de las variaciones del gasto energético y de la actividad física día a día<sup>1</sup>.

La mayoría de los trabajos publicados con acelerómetros no miden el GER, sino que lo estiman<sup>127,134</sup>. Fruin y Rankin<sup>127</sup> examinaron la fiabilidad y validez del SenseWear Armband durante el reposo y el ejercicio comparado con la calorimetría indirecta. No encontraron diferencias en reposo entre las mediciones de gasto energético por el SenseWear Armband y la calorimetría indirecta con alta correlación entre ambos métodos ( $r = 0,76$ ;  $p < 0,004$ ). La estimación del gasto energético mediante el SenseWear Armband demostró ser más reproducible que la calorimetría indirecta cuando se compararon las sesiones en reposo ( $r = 0,93$ ;  $p < 0,001$ ). Esta mayor fiabilidad posiblemente se deba a que el GER en el SenseWear Armband se estima mediante la edad, el sexo y el peso y no es realmente medido<sup>127</sup>.

Las críticas generales a los acelerómetros montados sobre cinturones incluyen la incapacidad para detectar movimientos del brazo<sup>126,134,135</sup>, ciclismo<sup>134,135,151</sup>, locomoción en una pendiente<sup>134,146</sup> y/o trabajo externo del tipo de empujar, levantar o llevar objetos<sup>126,133,135,146,151</sup> (se ha encontrado con acelerómetros triaxiales infraestimaciones

del 8-21% del gasto energético en pendiente, del 53-68% en bicicleta<sup>134</sup> y mayores del 35-45% en la vida cotidiana<sup>141</sup>). También se ha criticado a los acelerómetros que pueden entorpecer la actividad física intensa<sup>150</sup> y que exista variabilidad en los resultados dependiendo de dónde se coloquen<sup>133,151</sup>. La necesidad de convertir unidades de medida de actividad física en unidades de gasto energético puede suponer otra fuente de error<sup>151</sup>. El empleo de ecuaciones específicas para cada actividad se ha propuesto como un medio para mejorar la exactitud de las estimaciones<sup>134,131,136</sup>.

### Métodos combinados

En los últimos años se han realizado varios intentos de combinar sensores con objeto de conseguir una mayor precisión. Por ejemplo, los monitores SenseWear Armband y HealthWear Armband recogen aproximadamente 21 parámetros (incluyendo flujo de calor, acelerometría, respuesta galvánica de la piel —empleada como un indicador de la pérdida de calor por evaporación<sup>131</sup>—, temperatura cutánea, temperatura cercana al cuerpo)<sup>126,127,130,131</sup>. Así, la combinación de la monitorización de la frecuencia cardíaca con un sensor de movimiento ha demostrado mejorar la precisión en un 2%, sobre cada uno de estos métodos empleados por separado<sup>144,146,147</sup>. Desde el punto de vista económico, un simple podómetro puede costar sólo entre 15 y 30 euros, y el sensor de movimiento más sofisticado, 1.000 euros.

En el futuro, la combinación de las determinaciones del GER por calorimetría indirecta junto con el empleo de monitores multisensor podría mejorar las estimaciones de los RED en la práctica clínica.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Human Energy Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNO Expert Consultation. Rome 17-24 October 2001.
2. Battezzati A, Viganò R. Indirect calorimetry and nutritional problems in clinical practice. *Acta Diabetol.* 2001;38:1-5.
3. McClave S, Snider H. Use of indirect calorimetry in clinical nutrition. *Nutr Clin Pract.* 1992;7:207-21.
4. Brandi LS, Bertolini R, Calafà M. Indirect calorimetry in critically ill patients: Clinical applications and practical advice. *Nutrition.* 1997;13:349-58.
5. Long CL, Schaffel N, Geiger JW, Schiller WR, Blakemore WS. Metabolic response to injury and illness: Estimation of energy and protein needs from indirect calorimetry and nitrogen balance. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1979;3:452-6.
6. Fung E. Estimating energy expenditure in critically ill adults and children. *AACN Clinical Issues.* 2000;11:480-97.
7. Joosten KF, Verhoeven JJ, Hazelzet JA. Energy expenditure and substrate utilization in mechanically ventilated children. *Nutrition.* 1999;15:444-8.
8. Briassoulis G, Venkataraman S, Thompson AE. Energy expenditure in critically ill children. *Crit Care Med.* 2000;28:1166-72.

9. Taylor RM, Cheeseman P, Preedy V, Baker AJ, Grimble G. Can energy expenditure be predicted in critically ill children? *Pediatr Crit Care*. 2003;4:176-80.
10. Coss-Bu J, Jefferson LL, Walding DD, David Y, Smith E, Klish W. Resting energy expenditure and nitrogen balance in critically ill pediatric patients on mechanical ventilation. *Nutrition*. 1998;14:649-52.
11. Hulst JM, van Goudoever JB, Zimmermann LJ, Hop WC, Buller HA, Tibboel D, et al. Adequate feeding and the usefulness of the respiratory quotient in critically ill children. *Nutrition*. 2005;21:192-8.
12. Verhoeven JJ, Hazelsel JA, Van Deer Voort E, Joosten KEM. Comparison of measured and predicted energy expenditure in mechanically ventilated children. *Intensive Care Med*. 1998;24:464-8.
13. Hardy CM, Dwyer J, Snelling LK, Dallal GE, Adelson JW. Pitfalls in predicting resting energy requirements in critically ill children: A comparison of predictive methods to indirect calorimetry. *Pediatric Nutr Clin Pract*. 2002;17:182-9.
14. Vázquez JL, Dorao P, Díez, J, Ruza F. Predicted versus measured energy expenditure by continuous, online indirect calorimetry in ventilated, critically ill children during the early postinjury period. *Pediatr Crit Care Med*. 2004;5:19-27.
15. White MS, Shepherd RW, McEnery JA. Energy expenditure in 100 ventilated, critically ill children: Improving the accuracy of predictive equation. *Crit Care Med*. 2000;28:2307-12.
16. Hsu A, Heshka S, Janumala I, Song MY, Horlick M, Krasnow N, et al. Larger mass of high-metabolic-rate organs does not explain higher resting energy expenditure in children. *Am J Clin Nutr*. 2003;77:1506-11.
17. Holliday MA. Metabolic rate and organ size during growth from infancy to maturity and during late gestation and early infancy. *Pediatrics*. 1971;47:169-79.
18. Pollack MM, Ruttimann UE, Wiley JS. Nutritional depletions in critically ill children: Associations with physiologic instability and increase quantity of care. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 1985;9:309-13.
19. Almeida-Santos L, Ruza F, Guerra JM, Alves A, Dorao P, García S, et al. Evaluación nutricional de niños con insuficiencia respiratoria aguda: Antropometría al ingreso en Cuidados Intensivos Pediátricos. *An Esp Pediatr*. 1998;49:451-5.
20. Gebara B, Gelmini M, Sarnaik A. Oxygen consumption, energy expenditure and substrate utilization after cardiac surgery in children. *Crit Care Med*. 1992;20:1550-4.
21. Oesterveld MJ, Van Der Kuip M, De Meer K, De Greef HJ, Gemke RJ. Energy expenditure and balance following pediatric intensive care unit admission: A longitudinal study of critically ill children. *Pediatr Crit Care*. 2006;7:147-53.
22. Raurich JM, Ibañez J, Marsé P. CO<sub>2</sub> production and thermogenesis induced by enteral and parenteral nutrition. *Nutr Hosp*. 1996;11:108-13.
23. Liposki J, Nelson L. Ventilatory response to high caloric loads in critically ill patients. *Crit Care Med*. 1994;22:796-802.
24. Burke JF, Wolfe RR, Mullany CJ, Mathews DE, Bier DM. Glucose requirements following burn injury. Parameters of optimal glucose infusion and possible hepatic and respiratory abnormalities following excessive glucose intake. *Ann Surg*. 1979;190:274-85.
25. Butte NF, Wong WW, Hopkinson JM, Heinz CJ, Mehta NR, Smith EO. Energy requirements derived from total energy expenditure and energy deposition during the first two year of life. *Am J Clin Nutr*. 2000;72:1558-69.
26. Weststrate JA, Weys PJM, Poortvliet EJ, Deurenberg P, Hautvast JGAJ. Diurnal variation in postabsorptive resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis. *Am J Clin Nutr*. 1989;50:908-14.
27. Boothby WM, Berkson J, Dunn HL. Studies of the energy metabolism of normal individuals. *Am J Physiol*. 1936;116:468-84.
28. Berke EM, Gardner AW, Goran MI, Poehlman ET. Resting metabolic rate and the influence of the pretesting environment. *Am J Clin Nutr*. 1992;55:626-9.
29. Feurer ID, Mullen JL. Bedside measurements of resting energy expenditure and respiratory quotient via indirect calorimetry. *Nutr Clin Pract*. 1986;1:43-9.
30. Cunningham JJ. Body composition as a determinant of energy expenditure: A synthetic review and a proposed general prediction equation. *Am J Clin Nutr*. 1991;54:963-9.
31. Figueroa-Colon R, Franklin F, Goran M, Lee J, Weinsier R. Reproducibility of measurement of resting energy in prepubertal girls. *Am J Clin Nutr*. 1996;64:533-6.
32. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Publication no. 279. Washington, DC: Carnegie Institute of Washington; 1919. p. 1-266.
33. Caldwell MD, Kennedy-Caldwell C. Normal nutritional requirements. *Surg Clin North Am*. 1981;61:489-506.
34. Fleisch A. Le metabolisme basal standard et sa détermination au moyen du "metabocalculator". *Helv Med Acta*. 1951;18:23-44.
35. Talbot FB. Basal metabolism standards for children. *Am J Dis Child*. 1938;55:455-9.
36. Lewis RC, Duval AM, Hiff A. Standards for the basal metabolism of children from 2-15 years of age. *J Pediatr*. 1943;23:1-5.
37. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standard and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985;39 Suppl 1:S5-41.
38. 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;51:241-7.
39. 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;46:875-85.
40. 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;44:1-19.
41. FAO = WHO = UNU. Expert consultation on energy and protein requirements. Geneva: WHO, 1985.
42. Weinsier RL, Schutz Y, Bracco D. Re-examination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in human. *Am J Clin Nutr*. 1992;55:790-4.
43. 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;55:208-14.
44. Tershakovec AM, Kuppler KM, Zemel B, Stallings VA. Age, sex, ethnicity, body composition, and resting energy expenditure of obese African American and white children and adolescents. *Am J Clin Nutr*. 2002;75:867-71.
45. Bandini LG, Must A, Spadano JL, Dietz WH. Relationship of body composition, parental overweight, pubertal stage, and race-ethnicity to energy expenditure among premenarcheal girls. *Am J Clin Nutr*. 2002;76:1040-7.
46. Fontvieille AM, Harper IT, Ferraro RT, Spraul M, Ravussin E. Daily energy expenditure by five-year-old children, measured by double labeled water. *J Pediatr*. 1993;123:200-7.

47. Maffei C, Schutz Y, Micciolo R, Zocacante L, Pinelli L. Resting metabolic rate in six-to-ten-year-old obese and nonobese children. *J Pediatr*. 1993;122:556-62.
48. Ekelund U, Aman J, Yngve A, Renman C, Westerterp K, Sjostrom M. Physical activity but not energy expenditure is reduced in obese adolescents: A case-control study. *Am J Clin Nutr*. 2002;76:935-41.
49. Ekelund U, Yngve A, Brage S, Westerterp K, Sjostrom M. Body movement and physical activity energy expenditure in children and adolescents: How to adjust for differences in body size and age. *Am J Clin Nutr*. 2004;79:851-6.
50. Schoeller DA, Jefford G. Determinants of the energy costs of light activities: Inferences for interpreting doubly labeled water data. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2002;26:97-101.
51. Goran MI, Carpenter WH, Pohlman ET. Total energy expenditure in 4- to 6-yr-old children. *Am J Physiol*. 1993;264:E207-11.
52. Wren RE, Blume H, Mazariegos M, Solomon N, Alvarez JO, Goran MI. Body composition, resting metabolic rate and energy requirements of short and normal stature, low-income Guatemalan children. *Am J Clin Nutr*. 1997;66:406-12.
53. Molnar D, Jeegees S, Erhardt E, Schutz Y. Measured and predicted resting metabolic rate in obese and nonobese adolescents. *J Pediatr*. 1995;127:571-7.
54. Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX, et al. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 1998;275:E249-58.
55. Illner K, Brinkmann G, Heller M, Boser-Westphal A, Muller MJ. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in non obese adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2000;278:E306-15.
56. Goran MI, Kaskoun M, Johnson R. Determinants of resting energy expenditure in young children. *J Pediatr*. 1994;125:362-7.
57. Treuth MS, Butte NF, Wong WW. Effects of familial predisposition to obesity on energy expenditure in multiethnic prepubertal girls. *Am J Clin Nutr*. 2000;71:893-900.
58. Spadano JL, Bandini LG, Must A, Dallal GE, Dietz WH. Longitudinal changes in energy expenditure in girls from late childhood through midadolescence. *Am J Clin Nutr*. 2005;81:1102-9.
59. Sun M, Gower BA, Bartolucci AA, Hunter GR, Figueroa-Collon R, Goran MI. A longitudinal study of resting energy expenditure relative to body composition during puberty in African American and white children. *Am J Clin Nutr*. 2001;73:308-15.
60. Molnar D, Schutz Y. The effect of obesity, age, puberty and gender on resting metabolic rate in children and adolescents. *Eur J Pediatr*. 1997;156:376-81.
61. DeLany JP, Bray GA, Harsha DW, Volaufova J. Energy expenditure in African American and white boys and girls in a 2-yr follow-up of the Baton Rouge Children's Study. *Am J Clin Nutr*. 2004;79:268-73.
62. Maffei C, Schutz Y, Schena F, Zaffanello M, Pinelli L. Energy expenditure during walking and running in obese and nonobese prepubertal children. *J Pediatr*. 1993;123:193-9.
63. Bogardus C, Lillioja S, Ravussin E, Abbott W, Zawadzki JK, Young A, et al. Familial dependence of the resting metabolic rate. *N Engl J Med*. 1986;315:96-100.
64. Roberts SS, Savage J, Coward W, Chew B, Lucas A. Energy expenditure and intakes in infants born to lean and overweight mothers. *N Engl J Med*. 1988;318:461-6.
65. Goran MI, Carpenter WH, McGloin A, Johnson R, Hardin JM, Weisner RL. Energy expenditure in children of lean and obese parents. *Am J Physiol*. 1995;268:E917-24.
66. Noor MI, Poh BK, Zawiah H, Henry CJ. New predictive equations for estimation of basal metabolic rates of adolescents: Tropics versus temperate. *Forum Nutr*. 2003;56:250-3.
67. Chioloro R, Flatt JP, Revelly JP, Jequier E. Effects of catecholamines on oxygen consumption and oxygen delivery in critically ill patients. *Chest*. 1991;100:1676-84.
68. Hart DW, Wolf SE, Chinkes DL, Lal SO, Ramzy PI, Herndon DN. Beta-blockade and growth hormone after burn. *Ann Surg*. 2002;236:450-7.
69. Roza AM, Shizgal HM. The Harris-Benedict equation reevaluated: Resting energy requirements and the body cell mass. *Am J Clin Nutr*. 1984;40:168-82.
70. Montgomery RD. Changes in the basal metabolic rate of the malnourished infant and their relation to body composition. *J Clin Invest*. 1962;41:1653-63.
71. Parra A, Garza C, Garza Y, Saravia JL, Hazlewood CF, Nichols BL. Changes in growth hormone, insulin, and thyroxine values, and in energy metabolism of marasmic infants. *J Pediatr*. 1973;82:133-42.
72. Melchior JC, Raguin G, Bouvet E, Rigaud D, Matheron S, Casalino E, et al. Resting energy expenditure in human immunodeficiency virus-infected patients: Comparison between patients with and without secondary infections. *Am J Clin Nutr*. 1993;57:614-9.
73. Müller MJ, Lutz HU, Plogmann B, Burger M, Korber J, Schmidt FW. Energy expenditure and substrate oxidation in patients with cirrhosis: The impact of cause, clinical staging and nutritional state. *Hepatology*. 1992;15:782-94.
74. Naon H, Hack S, Shelton M, Gotthoffer R, Gozal D. Resting energy expenditure. Evolution during antibiotic treatment for pulmonary exacerbation in cystic fibrosis. *Chest*. 1993;103:1819-25.
75. Puhakka K, Räsänen J, Eljalala M, Peltola K. Metabolic effect of corrective surgery in infants and children with congenital heart disease. *Br J Anaesth*. 1993;70:149-53.
76. Stallings VA, Pencharz PPB. The effect of a high protein-low calorie diet on the energy expenditure of obese adolescents. *Eur J Clin Nutr*. 1992;46:897-902.
77. Grant J, Denne SC. Effect of intermittent versus continuous enteral feeding on energy expenditure in premature infants. *J Pediatr*. 1991;118:928-32.
78. Jeevanandam M, Grote-Holman E, Chikenjii T, Askanazi J, Elwyn D, Kinney J. Effects of glucose on fuel utilization and glycerol turnover in normal and injured man. *Crit Care Med*. 1990;18:125-35.
79. Wang P, Li N, Li JS, Li WO. The role of endotoxin, TNF-alpha, and IL-6 in inducing the state of growth hormone insensitivity. *World J Gastroenterol*. 2002;8:531-6.
80. Fernández IS, Kurpad AV, Kilpaldi AR, Shetty PS. Resting energy expenditure and nitrogen loss after surgery in chronically undernourished patients. *World J Surg*. 1993;17:80-4.
81. Coss-Bu JA, Jefferson LS, Walding D, David Y, Smith EO, Klish WJ. Resting energy expenditure in children in a pediatric intensive care unit: Comparison of Harris-Benedict and Talbot predictions equations with indirect calorimetry values. *Am J Clin Nutr*. 1998;67:7.
82. Soares MJ, Shetty PS. Basal energy rates and metabolic economy in chronic undernutrition. *Eur J Clin Nutr*. 1991;45:363-7.

83. Kurpad V, Kulkarni RN, Shetty PS. Reduced Thermoregulatory thermogenesis in undernutrition. *Eur J Clin Nutr.* 1989; 43:27-31.
84. Salas J, Dozio E, Goulet O, Marti-Henneberg C, Moukarcel E, Ricour C. Energy expenditure and substrate utilization in the course of renutrition of malnourished children. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1991;15:288-93.
85. Duggan M, Milner R. The maintenance energy requirement for children: An estimate based on a study of children with infection associated underfeeding. *Am J Clin Nutr.* 1986;43: 870-8.
86. García de Lorenzo A, Ortiz Leyba C. Grupo de trabajo de Metabolismo y Nutrición, Respuesta a la agresión: Valoración e implicaciones terapéuticas. 2ª Conferencia de Consenso de la SEMIUC. *Medicina Intensiva.* 1997;21:13-28.
87. Jeschke MG, Barrow RE, Mlcak RP, Herndon DN. Endogenous anabolic hormones and hypermetabolism: Effect of trauma and gender differences. *Ann Surg.* 2005;241:759-67; discussion 767-8.
88. Barret JP, Herndon DN. Modulation of inflammatory and catabolic responses in severely burned children by early burn wound excision in the first 24 hours. *Arch Surg.* 2003;138: 127-32.
89. Powis MR, Smith K, Rennie M, Hallyday D, Piero A. Effect of major abdominal operations on energy and protein metabolism in infants and children. *J Pediatr Surg.* 1998;30:49-53.
90. Jones MO, Pierro A, Hammond P, Lloyd DA. The metabolic response to operative stress in infants. *J Pediatr Surg.* 1993;28:1258-63.
91. Jeevanandam M, Young DH, Ramias L, Schiller WR. Aminoaciduria of severe trauma. *Am J Clin Nutr.* 1989;49:814-22.
92. Monk DN, Plank LD, Franch-Arcas G, Finn PJ, Streat SJ, Hill GL. Sequential changes in the metabolic response in critically injured patients during the first 25 days after blunt trauma. *Ann Surg.* 1996;223:395-405.
93. Steinhorn DM, Green TP. Severity of illness correlates with alterations in energy metabolism in the pediatric intensive care unit. *Crit Care Med.* 1991;19:1503-9.
94. Van Lanschot JJ, Feenstra BW, Vermeij CG, Bruining HA. Calculation versus measurement of total energy expenditure. *Crit Care Med.* 1986;14:981-5.
95. Giantin V, Ceccon A, Enzi G, Sergi G, Perini P, Bussolotto M, et al. Heart rate and metabolic response to burn injury in humans. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1995;19:55-62.
96. Ortiz Justiniano V, Díaz Troche J, Ramírez Ferrer L. Resting energy expenditure in children after major surgery. *Bol Asoc Med PR.* 1994;86:81-3.
97. Tilden SJ, Watkins S, Tong T, Jeevanandam M. Measured versus predicted energy expenditure in pediatric intensive care patients. *Am J Dis Child.* 1989;143:490-2.
98. Selby AM, McCauley JC, O'Connell A, Gillis J, Gaskin KJ. Indirect calorimetry in mechanically ventilated children: A new technique that overcomes the problem of endotracheal tube leak. *Crit Care Med.* 1995;23:365-70.
99. Chwals WJ, Lally KP, Woolley MM, Mahour GH. Measured energy expenditure in critically ill infants and young children. *J. Surg Res.* 1988;44:467-72.
100. Steinhorn DM. Energy expenditure in critically ill children is lower than expected. *Pediatric Res.* 1993;33:41A.
101. Phillips R, Ott L, Young B, Walsh J. Nutritional support and measured energy expenditure of the child and adolescent with head injury. *J Neurosurg.* 1987;67:846-51.
102. Fossyth JS, Crighton A. Low birth weight infants and total parenteral nutrition immediately after birth. Energy expenditure and respiratory quotient of ventilated and non-ventilated infants. *Arch Dis Child.* 1995;71:31-4.
103. Brown PE, McClave SA, Hoy NW, Short AF, Sexton LK, Meyer KL. The Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II classification system is a valid marker for physiologic stress in the critically ill patient. *Crit Care Med.* 1993;21:363-7.
104. Havalad S, Quaid MA, Sapiega V. Energy expenditure in children with severe head injury: Lack of agreement between measured and estimated energy expenditure. *Nutr Clin Pract.* 2006;21:175-81.
105. Weissman C, Kemper M. Assessing hypermetabolism and hypometabolism in the postoperative critically ill patient. *Chest.* 1992;102:1556-71.
106. López-Herce J, Sánchez C, Mencía S, Santiago MJ, Carrillo A, Bellón JM. Consumo calórico en el niño crítico: relación con las características clínicas, el aporte calórico y las fórmulas teóricas de cálculo de las necesidades energéticas. *An Pediatr (Barc).* 2007;66:229-39.
107. Vernon DD, Witte MK. Effect of neuromuscular blockade on oxygen consumption and energy expenditure in sedated, mechanically ventilated children. *Crit Care Med.* 2000;28: 1569-71.
108. Vermeij CG, Feenstra BW, Van Lanschot JJ. Day to day variability of energy expenditure in critically ill surgical patients. *Crit Care Med.* 1989;17:623-6.
109. Poblete B, Romand JA, Pichard C, König P, Suter PM. Metabolic effect of paracetamol, metimazol or external cooling in critically ill febrile sedated patients. *Br J Anaesth.* 1997;78: 123-7.
110. Bruder N, Raynal M, Pellissier D, Courtinat C, François G. Influence of body temperature, with or without sedation, on energy expenditure in severe head-injured patients. *Crit Care Med.* 1998;26:568-72.
111. Weissman C, Kemper M, Damask MC, Askanazi J, Hyman AI, Kinney JM. Effect of routine intensive care interactions on metabolic rate. *Chest.* 1984;86:815-8.
112. Boulanger BBR, Nayman RRD, McLean RRF, Phillips E, Rizzoli SSB. What are the clinical determinants of early energy expenditure in critically injured adults? *J Trauma.* 1994;37: 969-74.
113. Schoeller DA, Van Santen E. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water. *J Appl Physiol.* 1982;53:955-9.
114. Schoeller DA, Leitch CA, Brown C. Doubly labeled water method: In vivo oxygen and hydrogen isotope fractionation. *Am J Physiol.* 1986;251:R1137-43.
115. Schoeller DA. Energy expenditure from doubly labeled water: Some fundamental considerations in humans. *Am J Clin Nutr.* 1983;38:999-1005.
116. Schoeller DA, Taylor PB, Shay K. Analytic requirements for the doubly labeled water method. *Obes Res.* 1995;3 suppl: 15-20.
117. Lifson N, McClintock R. Theory of use of the turnover rates of body water for measuring energy and material balance. *J Theor Biol.* 1966;12:46-74.
118. Schoeller DA. Recent advances from application of doubly-labeled water to measurement of human energy expenditure. *J Nutr.* 1999;129:1765-8.
119. Klein PD, James WPT, Wong WW, Irving CS, Murgatroyd PR, Cabrera M, et al. Calorimetric validation of the doubly labeled water method for determination of energy expenditure in man. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1984;38:95-106.

120. Schoeller DA, Webb P. Five-day comparison of the double labeled water method with respiratory gas exchange. *Am J Clin Nutr.* 1984;40:153-8.
121. Schoeller DA, Ravussin E, Schutz Y, Acheson KJ, Baertschi P, Jequier E. Energy expenditure by doubly labeled water: Validation in humans and proposed calculation. *Am J Physiol.* 1986;250:R823-30.
122. Roberts SB, Coward WA, Noshia V, Schlingenseipen K, Lucas A. Comparison of the double labeled water method with indirect calorimetry and a nutrient balance study for simultaneous determination of energy expenditure, water and metabolizable energy intake in premature infants. *Am J Clin Nutr.* 1986;44:315-22.
123. Jones P, Winthrop A, Schoeller D, Swyer PP, Smith JJ, Filler RR, et al. Validation of doubly labeled water for assessing energy expenditure in infants. *Pediatr Res.* 1987;21:242-6.
124. Pitta F, Troosters T, Spruit MA, Probst VS, Decramer M, Gosselink R. Characteristics of physical activities in daily life in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;(171):972-7.
125. Perini M, Fiocchi A, Bollini F, Lanfranchi S, Zarccone D. Relationship between active and total energy expenditure in Synchron's Chorea: A clinical case. Abstract presentado en Grado (Gorizia, Italia, del 18 al 21 de mayo de 2005) ante la Asociación Italiana de Neurólogos Clínicos (Associazione Nazionale Neurologi Ospedalieri).
126. King GA, Torres N, Potter C, Brooks TJ, Coleman KJ. Comparison of activity monitors to estimate energy cost of treadmill exercise. *Med Sci Sport Exerc.* 2004;36:1244-51.
127. Fruin ML, Rankin JW. Validity of a multi-sensor armband in estimating rest and exercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1063-9.
128. Mignault D, St-Onge M, Karelis AD, Allison DB, Rabasa-Lhoret R. Evaluation of the Portable HealthWear Armband. *Diabetes Care.* 2005;28:225-7.
129. Patel SA, Slivka WA, Sciarba FC. Validation of a Wearable Body Monitoring Device in COPD. Póster presentado en el 2004 ATS annual meeting (Orlando).
130. Cole PJ, Lemura LM, Klinger TA, Strohecker K, McConnell TR. Measuring energy expenditure in cardiac patients using the Body Media(TM) Armband versus indirect calorimetry: A validation study. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 2004;44:262-71.
131. Jakicic JM, Marcus M, Gallagher KI, Randall C, Thomas E, Goss FL, et al. Evaluation of the SenseWear Pro Armband® to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:897-904.
132. Colburn TC, Washburn RA, Guarini JJ, Simmons NW. An ambulatory activity monitor with solid state memory. *Instrument Society of America, Transactions; BM 76322.* p. 117-22.
133. Swartz AM, Strath SJ, Bassett DR Jr, O'Brien WL, King GA, Ainsworth BE. Estimation of energy expenditure using CSA, Inc. accelerometer hip and wrist sites. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32 Suppl:S450-6.
134. Campbell KL, Crocker PR, McKenzie DC. Field evaluation of energy expenditure in women using Tritrac accelerometers. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1667-74.
135. Chen KY, Sun M. Improving energy expenditure estimation by using a tri-axial accelerometer. *J Appl Physiol.* 1997;83:2112-22.
136. Welk GJ, Blair SN, Wood K, Jones S, Thompson RW. A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000; 32 Suppl: S489-97.
137. Maliszewski A, Freedson P, Ebbeling C. Validity of the Caltrac accelerometer in estimating energy expenditure, and activity in children and adults. *Pediatr Exerc Sci.* 1991;3:41-151.
138. Ekelund U, Sjöström M, Yngve A, Poortvliet E, Nilsson A, et al. Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:275-81.
139. Trost SG, Ward DS, Moorehead SM, Watson PD, Riner W, Burke JR. Validity of the Computer Science and Applications (CSA) activity monitor in children. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:629-33.
140. Welk GJ, Corbin CB. The validity of the Tritrac-R3D Activity Monitor for the assessment of physical activity in children. *Res Q Exerc Sport.* 1995;66:202-8.
141. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Butte NF. Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obes Res.* 2002;10:150-7.
142. Going SB, Levin S, Harrell J, Stewart D, Kushi L, Cornell CE, et al. Physical activity assessment in American Indian schoolchildren in the Pathways study. *Am J Clin Nutr.* 1999;69 Suppl: S788-95.
143. Janz KF, Witt J, Mahoney LT. The stability of children's physical activity as measured by accelerometry and self-report. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:1326-32.
144. Eston RG, Rowlands AV, Inedew DK. Validity of heart rate, pedometry and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J Appl Physiol.* 1998;84:362-71.
145. Meijer GA, Westerterp KR, Koper H, Ten Hoor F. Assessment of energy expenditure by recording heart rate and body acceleration. *Med Sci Sports Exerc.* 1989;22:343-7.
146. Rennie K, Roswell T, Jebb SA, Holbuen D, Wareham NJ. A combined heart rate and movement sensor; Proof of concept and preliminary testing study. *Eur J Clin Nutr.* 2000;54:409-14.
147. Luke A, Maki KC, Barhey N, Cooper R, McGee D. Simultaneous monitoring of heart rate and motion to assess energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:144-8.
148. Weissman C, Kemper M, Elwyn DH. The energy expenditure of the mechanically ventilated critically ill patient. An analysis. *Chest.* 1986;89:254-9.
149. Treuth MS, Sherwood NE, Butte NF, McClanahan B, Obarzanek E, Zhou A, et al. Validity and reliability of activity measures in African American girls for GEMS. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:532-9.
150. Kohl HW, Fulton JE, Caspersen CJ. Assessment of physical activity among children and adolescents: A review and synthesis. *Prev Med.* 2000;31:S54-76.
151. Welk GJ, Corbin CB, Dale D. Measurement issues in the assessment of physical activity in children. *Res Q Exerc Sport.* 2000;71:59-73.
152. Sirard JR, Pate RR. Physical activity assessment in children and adolescents. *Sports Med.* 2001;31:439-64.
153. Noland M, Danner F, Dewalt K, McFadden M, Kotchen M. The measurement of physical activity in young children. *Res Q Exerc Sport.* 1990;61:146-53.
154. Finn KJ, Specker B. Comparison of Actiwatch activity monitor and Children's Activity Rating Scale in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1794-7.
155. Puhl J, Greaves K, Hoyt M, Baranowski T. Children's Activity Rating Scale (CARS): Description and calibration. *Res Q Exerc Sport.* 1990;61:26-36.
156. Trost SG, Sirard JR, Dowda M, Pfeiffer KA, Pate RR. Physical activity in overweight and nonoverweight preschool children. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2003;27:834-9.

157. Dauncey Mi, 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.
158. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg OR, 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.
159. Livingstone MBE, Prentice AM, Coward WA, Ceesay SM, Strain JJ, McKenna PG, et al. 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.
160. 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.
161. Livingstone MD, Coward WA, Prentice AM, Davies PS, Strain JJ, McKenna PG, et al. Daily energy expenditure in free-living children; Comparison of heart rate monitoring with the doubly labeled water method. *Am J Clin Nutr.* 1992;56:343-52.
162. Van den Berg-Emons RJG, Saris WHM, Westerterp KR, Van Baak MA. Heart rate monitoring to assess energy expenditure in children with reduced physical activity. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:496-501.
163. Rowlands AV, Eston RG, Ingledew DK. Measurement of physical activity in children with particular reference to the use of heart rate and pedometry. *Sports Med.* 1997;24:258-72.
164. Westerterp KR. Physical activity assessment with accelerometers. *Int J Obes.* 1999;23 Suppl 3:S45-9.
165. Sequeira, MM, Rickenbach M, Wietlisbach V, Tullen B, Schutz Y. Physical activity assessment using a pedometer and its comparison with a questionnaire in a large population survey. *Am J Epidemiol.* 1995;142:989-99.
166. Holliday MA, Segar WE. Maintenance need for water in parenteral fluid therapy. *Pediatrics.* 1957;19:823-7.
167. Darrow DC. A guide to learnig fluid therapy. Springfield III: Charles C. Thomas Co.; 1964.
168. Daly JM, Heymsfield SB, Head CA, Harvey LP, Nixon DW, Katzeff H, et al. Human energy requirements: Overestimation by widely used prediction equation. *Am J Clin Nutr.* 1985;42:1170-4.
169. Thompson MA, Bucolo S, Quirk PP, Shepherd RR. Measured versus predicted resting energy expenditure in infants: A need for reappraisal. *J Pediatr.* 1995;126:21-7.
170. Kaplan AS, Zemel BS, Neiswender KM. Resting energy expenditure in clinical pediatrics: Measured versus prediction equations. *J Pediatr.* 1995;127:200-5.
171. Jensen CL, Butte NF, Wong WW, Moon JK. Determining energy expenditure in preterm infants: Comparison of 2H218O method and indirect calorimetry. *Am J Physiol.* 1992;32:R685-92.
172. Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol.* 1949;109:1-9.
173. Black AE, Prentice AM, Coward WA. Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1986;40C:381-91.
174. Smyrnios NA, Curley FJ, Shaker KG. Accuracy of 30-minute indirect calorimetry studies in predicting 24-hour energy expenditure in mechanically ventilated, critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1997;21:168-74.
175. Feenstra BW, Van Lanschot JJ, Vermeij CG. Artifacts in the assessment of metabolic gas exchange. *Intensive Care Med.* 1986;12:312-5.
176. White MS, Shepherd RW, McEniery JA. Energy expenditure measurements in ventilated critically ill children: Within- and between-day variability. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1999;23:300-4.
177. Porter C, Cohen NH. Indirect calorimetry in critically ill patients: Role of the clinician, dietitian in interpreting results. *J Am Diet Assoc.* 1996;96:49-57.
178. Saffle J, Larson C, Sullivan J. A randomized trial of indirect calorimetry-based feedings in thermal injury. *J Trauma.* 1990;30:776-83.
179. Frankenfield D, Smith JS, Cooney R. Accelerated nitrogen loss after traumatic injury is not attenuated by achievement of energy balance. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1997;21:324-9.
180. Ferrannini E. The theoretical bases of indirect calorimetry: A review. *Metabolism.* 1988;37:287-301.
181. Livesey G, Elia M. Estimation of energy expenditure, net carbohydrate utilization, and net fat oxidation and synthesis by indirect calorimetry: Evaluation of errors with special reference to the detailed composition of fuels. *Am J Clin Nutr.* 1988;47:608-28.
182. Torun B, Cabrera Santiago MI, Viteri FE. Protein requirements of preschool children: Obligatory nitrogen losses and nitrogen balance measurements using cow's milk. *Arch Latinoam Nutr.* 1981;31:571-85.
183. Weissman Ch, Kemper M. Metabolic measurement in the critical ill. *Crit Care Clin.* 1995;11:169-97.
184. Mickell JJ. Urea nitrogen in critically ill children. *Pediatrics.* 1982;70:949-55.
185. Williams RR, Fuenning CR. Circulatory indirect calorimetry in the critically ill. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1991;15:509-12, comment in *JPEN.* 1992;16:497; *JPEN.* 1992;16:595; *JPEN.* 1993;17:398.
186. Benotti P, Bistrrian B. Metabolic and nutritional aspects of weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med.* 1989;17:181-5.
187. Oh TE, Bhatt SS, Lin ES, Hutchinson RRC, Low JM. Plasma catecholamines and oxygen consumption during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 1991;17:199-203.
188. Thuren P, Phillips RR, DeMarie M, Hoffenberg A, Bronstein M, Spedale S, et al. Technical and methologic considerations for performance of indirect calorimetry in ventilated and nonventilated preterm infants. *Crit Care Med.* 1997;25:171-80.
189. Bassett DR Jr., Howley ET, Thompson DL, King GA, Strath SJ, McLaughlin JE, et al. Validity of inspiratory and expiratory methods of measuring gas exchange with a computerized system. *J Appl Physiol.* 2001;91:218-24.
190. Frankenfield D, Sarson GY, Blosser SA, Conney RN, Smith JS. Validation of an abbreviated indirect calorimetry protocol in critically ill patients. *J Am Coll Nutr.* 1996;15:397-402.
191. Damak M, Askanazi J, Wiessman Ch, Elwyn D, Kinney J. Artifacts in measurement of resting energy expenditure. *Crit Care Med.* 1983;11:750-2.
192. Chwals WJ, Lally KP, Woolley MM. Indirect calorimetry in mechanically ventilated infants and children: Measurement accuracy with absence of audible airleak. *Crit Care Med.* 1992;20:768-70.
193. Dietrich K, Romero M, Conrad S. Effects of gas leak around endotracheal tubes on indirect calorimetry measurement. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1990;14:408-13.
194. Riddoch CJ, Boreman CAG. The health-related physical activity of children. *Res Q Exerc Sport.* 1995;65:84-8.

- 195.** Takken T, Van der Net J, Cuis WW, Helders PJ. Physical activity and health related physical fitness in children with juvenile idiopathic arthritis. *Ann Rheum Dis.* 2004; 63:112.
- 196.** Gass EM, Gass GC. Rectal and esophageal temperatures during upper and lower body exercise. *Eur J Applied Physiol.* 1998;78:38-42.
- 197.** Van Marken Lichtenbelt WD, Westerterp-Plantenga MS, Van-Haydonek P. Individual variation in the relation between body temperature and energy expenditure in response to elevated ambient temperature. *Physiol Behav.* 2001;73:235-42.
- 198.** Speakman JR, Nair SK, Goran MI. Revised equations for calculating CO<sub>2</sub> production from doubly labeled water in humans. *Am J Physiol.* 1993;264:E912-7.

#### ANEXO. Teoría del método del agua doblemente marcada

Para el cálculo de la tasa diaria media de producción de CO<sub>2</sub> puede usarse la ecuación de Lifson y McClintock<sup>117</sup> o alguna modificación de ésta, por ejemplo:

$$rCO_2 = (N/2,078)(1,01 K_o - 1,04 k_h) - 0,0246 rGf$$

donde N es el agua corporal total en moles, k<sub>o</sub> es la tasa de eliminación de <sup>18</sup>O, k<sub>h</sub> es la tasa de eliminación de <sup>2</sup>H, y rGf es la tasa estimada de pérdida de agua isotópicamente fraccionada, igual a 1,05 N (1,01 k<sub>o</sub> - 1,04 k<sub>h</sub>)<sup>121</sup>

Las tasas de eliminación de los isótopos <sup>18</sup>O y <sup>2</sup>H pueden calcularse por el método de los 2 puntos usando la diferencia en el exceso de porcentaje atómico (APE) de las muestras del punto inicial (i) y final (f) y el tiempo entre la recogida de orina, como sigue:

$$k = (\ln APE_i - \ln APE_f) / \text{tiempo}$$

donde APE es el enriquecimiento isotópico de la muestra con respecto a la muestra basal (predosis)<sup>45,58</sup>. Este método ahorra la recogida continua de orina<sup>45</sup>

También puede emplearse la ecuación R2 de Speakman<sup>198</sup> para el cálculo de la tasa de producción de CO<sub>2</sub>, usando el espacio de dilución de <sup>2</sup>H<sup>52</sup>. Otros autores calculan la producción de CO<sub>2</sub> a partir de los espacios de dilución y las tasas de fraccionamiento del deuterio y del <sup>18</sup>O por medio del método múltipunto y la ecuación:

$$rCO_2 = 0,4584 (K_o N_o - k_h N_h)$$

donde k<sub>o</sub> y k<sub>h</sub> son las tasas de fraccionamiento del <sup>18</sup>O y del deuterio, respectivamente, y N<sub>o</sub> y N<sub>h</sub> son los espacios de dilución del <sup>18</sup>O y del deuterio, respectivamente, o la ecuación:

$$VCO_2 \text{ (mol/día)} = 0,4556 (K_o N_o - Q_o) (k_h N_h - Q_h)$$

donde <sup>18</sup>O (Q<sub>o</sub>) y <sup>18</sup>H (Q<sub>h</sub>) representan los cambios diarios en los espacios de dilución de <sup>18</sup>O y <sup>18</sup>H, respectivamente<sup>25</sup>

Una vez conocida la producción de CO<sub>2</sub> se calcula el GET mediante la ecuación de Weir<sup>174</sup>:

$$GET \text{ (MJ/d)} = 22,4 (1,106 V CO_2 + 3,941 VO_2) / 23$$

donde el VO<sub>2</sub> se calcula mediante la división del VCO<sub>2</sub> por el cociente alimentario (*food quotient*)<sup>115,174</sup>. Esto implica asumir que el cociente alimentario es equivalente al RQ (VO<sub>2</sub> = VCO<sub>2</sub>/cociente alimentario)<sup>113,115,121</sup>. El cociente alimentario es calculado desde la composición en macronutrientes de la dieta como describieron Black et al<sup>176</sup>. Habitualmente se emplean diarios para recoger la ingesta dietética de 7 días<sup>45,48,58,150</sup>, aunque para niños a veces se reduce esta duración<sup>50</sup>. Se han utilizado cocientes alimentarios de 0,87; 0,855; 0,855; 0,855; 0,87, y 0,87 para las edades de 3, 6, 9, 12, 18, y 24 meses, respectivamente<sup>175</sup>

Se deben realizar correcciones para el fraccionamiento isotópico del agua perdida en la respiración y de forma transcutánea (no en el sudor)<sup>64,113-117,150</sup>