

## Cálculo y medición del gasto energético en pacientes en estado crítico

Dr. Jorge Alberto Castañón González,\* Dr. Rogelio Miranda Ruíz,\*  
Dr. Marco Antonio León Gutiérrez\*, Lic. Nut. Rocío Elena Torres\*

### RESUMEN

El tratamiento integral del enfermo grave incluye un apoyo metabólico nutricional adecuado. Debido a la respuesta metabólica que presentan estos pacientes, no existe un método sencillo que por fórmulas simples calcule el gasto energético (GE). Es por esto que se ha constituido en una línea de investigación en nuestra unidad de cuidados intensivos. Hoy en día, las fórmulas predictivas para calcular el gasto energético se basan, en constantes fijas obtenidas de sujetos normales o en poblaciones de pacientes con enfermedades heterogéneas que no se pueden extrapolar fácilmente para su aplicación en pacientes graves y en estado crítico. La calorimetría indirecta constituye en la actualidad el método clínico por excelencia para obtener el GE y actualmente constituye el "estándar de oro" con el cual deben compararse otros métodos. Debido a que este método no está disponible en todas las unidades, nosotros proponemos un nuevo método utilizando la capnometría y la fórmula de Weir modificada.

**Palabras clave:** Gasto energético, calorimetría indirecta, capnometría, ecuación de Weir.

### SUMMARY

*Energy expenditure (EE) in critically ill patients is reviewed. Differences between predicted and measured EE in critically ill patients are emphasized. Predicted EE is based on standard mathematical formulas which take into account sex, age, weight and height derived from normal ambulatory patients. The values obtained from this formulas are considered the basal metabolic rate of normal individuals, and when applied to different pathological states, specially corrected factors are used, which makes them difficult to apply in critically ill patients since conditions vary widely from day to day. Measured EE by indirect calorimetry is considered the "gold standard", but it is expensive and not readily available in all intensive care units, so an alternative and practical method to predict energy expenditure using capnometry and the modified Weir equation developed in our intensive care unit is presented.*

**Key words:** Energy expenditure, indirect calorimetry, capnometry, Weir equation.

El apoyo metabólico nutricional es fundamental como parte del tratamiento integral del enfermo grave y en estado crítico; la indicación adecuada de nutrimentos es importante en la medida que un aporte subnormal permite un catabolismo persistente y acentuación de la desnutrición aguda, mientras que el exceso de calorías agrega una sobrecarga al aparato cardiopulmonar, aumenta la producción de CO<sub>2</sub> y complica el tratamiento venti-

latorio, así mismo favorece hiperglucemia, hiperlipidemia y esteatosis hepática.<sup>1</sup>

El estrés «fisiológico» en que se encuentra el paciente grave y en estado crítico, complica la prescripción del apoyo metabólico nutricional, de ahí que no exista un método sencillo que por fórmulas simples calcule el gasto energético (GE).<sup>1</sup>

En términos generales el CE basal (GEB) se define como la cantidad de energía que se gasta bajo condiciones basales, esto es en completo reposo, al despertar y después de 12 horas de ayuno.<sup>1,3</sup> Aquí cabe destacar que en condiciones normales el corazón, riñón, hígado y cerebro que en conjunto suman entre el cinco al seis por ciento

\* Unidad de Cuidados Intensivos y Medicina Crítica, Sección de Apoyo Metabólico Nutricional. Hospital de Especialidades «Dr. Bernardo Sepúlveda G», CMN Siglo XXI, IMSS.

del peso corporal consumen cerca de 60 a 70% del GEB.<sup>3</sup> Este GEB varía con la edad, el género y la superficie corporal. Por las condiciones clínicas prevalentes en los enfermos graves y en estado crítico no es posible medir el GEB, por lo que en su lugar se mide el GE en reposo (GER). Éste representa la cantidad de energía que se produce después de dos horas de ayuno (estado posabsorbtivo), en reposo y en ambiente termoneutro.<sup>1-3</sup> El GER en condiciones normales es 10% mayor que el GEB, pero en pacientes graves, dependiendo de su patología y condiciones clínicas este gasto puede variar con incrementos mayores al 100%.<sup>3</sup> El GE total (GET) corresponde a la suma del GEB más la termogénesis facultativa (efecto termogénico de los nutrientes) más las pérdidas de energía que se producen en relación con la severidad de la enfermedad asociada.<sup>4,5</sup>

### RESPUESTA METABÓLICA A LA LESIÓN

Existen dos fases en la respuesta metabólica a la lesión aguda, la primera se conoce como la fase «EBB» o de hipometabolismo, y la segunda es la fase «FLOW» o de hipermetabolismo.<sup>1-4</sup> La fase EBB se caracteriza por hipoperfusión tisular, disminución de gasto energético, hipotermia, hiperglucemia con hipoinsulinemia y concentraciones elevadas de cortisol, catecolaminas y glucagón.<sup>1-3</sup> Habitualmente dura de 24 a 36 horas, tiempo durante el cual los pacientes internados en la unidad de cuidados intensivos se reaniman y estabilizan. En la fase «FLOW» o de flujo cuando la perfusión a órganos vitales se ha recuperado, las concentraciones de cortisol, catecolaminas y glucagón se encuentran normales o elevadas y se observa una resistencia tisular a la acción de la insulina.<sup>3,4</sup> En esa fase los pacientes incrementan su consumo de oxígeno ( $VO_2$ ), gasto energético, temperatura e inician un catabolismo muscular persistente para

obtener aminoácidos gluconeogénicos (alanina y glutamina) esto es con la finalidad de generar y mantener un aporte de glucosa (gluconeogénesis) a órganos vitales así como para mantener la integridad funcional del sistema inmune y la actividad de los fibroblastos en la reparación tisular.<sup>1-4</sup> La duración de esta fase está en relación con el tipo de lesión y a la posibilidad de contener y/o limitar la lesión aguda y obviamente a la oportunidad y calidad de las intervenciones terapéuticas para que el organismo recupere la homeostasis.<sup>4-6</sup> Desde el punto de vista clínico estas fases se engloban en lo que se define actualmente con síndrome de respuesta inflamatoria sistemática (SRIS).<sup>6</sup>

### TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica «la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma».<sup>1</sup> De acuerdo a este principio el camino para que los seres vivos obtengan energía es transferirla de una fuente de energía almacenada en la naturaleza. Los substratos ricos en energía se denominan «combustibles» y el mecanismo que transforma esta energía «vías metabólicas».<sup>1-3</sup> En el ser humano el organismo tiene mecanismos bioquímicos que mezclan el oxígeno con un combustible orgánico (hidratos de carbono, lípidos y proteínas), de tal manera que la energía que se libera del combustible es utilizada para las funciones corporales.<sup>2,3</sup> Este proceso que permite la liberación de energía del combustible se denomina oxidación. La energía que proporcionan los sustratos orgánicos se miden como producción de calor en kilocalorías por gramo de sustrato utilizado (*cuadro I*).

### DETERMINACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO

Hoy en día existen dos formas para determinar el GE; la primera incluye el cálculo del GER por

**Cuadro I. Cálculo y medición del gasto energético en pacientes graves en estado crítico.**

Metabolismo oxidativo de los combustibles orgánicos.				
Combustible	$VO_2$ (L/g)	$VCO_2$ (L/g)	QR	Energía (kcal/g)
Lípido	2.00	1.40	0.70	9.1
Proteínas	0.96	0.78	0.80	4.0
Glucosa	0.74	0.74	1.00	3.7

Cociente respiratorio:  $QR = VCO_2/VO_2$

medio de fórmulas predictivas que establecen constantes fijas obtenidas de sujetos normales.<sup>1-3</sup>

La fórmula más conocida y utilizada es la de Harris y Benedict, ésta fue diseñada para individuos sanos y para poder ser utilizada en enfermos, al resultado final de esta fórmula se le agrega el por ciento del incremento en el GE que se produce en condiciones clínicas específicas y que se denominan «factores de estrés» estos factores fueron medidos por Long en 1979 por medio de calorimetría indirecta CI.<sup>3</sup>

Existen otras fórmulas de cálculo diseñadas para enfermedades específicas. Todas las fórmulas se aproximan al GE real de los pacientes; sin embargo, debe tomarse en cuenta que en pacientes graves y en estado crítico, pueden subestimar o sobrestimar en mucho el GE real, por tal motivo consideramos un cálculo energético aceptable, desde el punto de vista clínico, cuando se encuentra dentro de un margen de más/menos 200 kcal/día comparado con el GE medido por CI.<sup>2</sup>

La segunda forma para obtener el GER y que se considera el «estándar de oro» con el cual se comparan todos los métodos para medir o calcular el GE, consiste en utilizar un monitor metabólico que por medio de calorimetría indirecta determina el GE a través de la medición del  $\text{VO}_2$  y el  $\text{VCO}_2$ , así mismo permite conocer el cociente respiratorio (CR) que se obtiene de la relación  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$  de los pacientes, lo que informa sobre el sustrato que utilizan para obtener energía.<sup>3</sup>

La CI se basa en una fórmula sencilla para medir el GE que Weir publicó en 1949 y que define el GE ( $\text{kcal/min}$ ) =  $3.94 \times \text{VO}_2$  ( $\text{mL/min}$ ) +  $1.106 \times \text{VCO}_2$  ( $\text{mL/min}$ ), esta fórmula se derivó de los trabajos previos de Lusk, Cathcart y Cuthbertson, así como Zunts y Schumber.<sup>3</sup> La mayoría de los autores están de acuerdo que la obtención del  $\text{VO}_2$  por CI es más exacta que el método de Fick, debido a que en este último por la naturaleza de la fórmula se excluye la circulación pulmonar.<sup>3</sup> La importancia clínica real de esta diferencia se desconoce, pues hasta el momento no existen estudios que demuestren la superioridad de un método sobre el otro en el tratamiento de los enfermos graves. Los beneficios clínicos de la CI para la determinación del gasto energético y estado metabólico, la evaluación clínica de fármacos y como adyuvante en el retiro de la asistencia mecánica ventilatoria son indudables.<sup>1-4</sup>

En pacientes graves durante la reanimación con cristaloideos y coloides se presentan fluctuaciones agudas en el peso que son secundarias en parte a

fuga capilar de líquidos, por lo que el peso de los pacientes es una variable no confiable para ajustar las kilocalorías por kg de peso.<sup>3,4</sup> Tampoco existe en la actualidad un método práctico desde el punto de vista clínico con el cual se pueda medir el porcentaje del peso corporal que corresponde al tejido muscular magro y parénquima visceral que son los determinantes del GER, por esta razón la utilidad clínica de calcular el GER al utilizar el peso ideal radica en no sobrestimar el GER y evitar así un aporte calórico excesivo.<sup>1,4</sup>

En nuestra experiencia encontramos que conocer el peso «ideal o recomendable» es de gran ayuda para calcular el GER. Este se obtiene al elevar la talla en metros al cuadrado y multiplicar por 22.

Al igual que otros autores hemos observado que al usar la fórmula de Harris-Benedict con factor de estrés para determinar el GE, éste sobrestima el GER real de los pacientes graves por lo que nosotros recomendamos utilizar 25 a 30 kcal por kg de peso ideal por día con lo que proporcionamos razonablemente el aporte calórico a los tejidos que determinan el GE.<sup>1,3,5,6</sup> En los estudios que realizamos con calorimetría indirecta en pacientes que ingresaron a la unidad de cuidados intensivos en el posoperatorio inmediato de cirugía gastrointestinal complicada y con SRIS comparamos los resultados del GE que se obtuvo por CI contra aportar 32 kcal fijas por kg de peso ideal con lo que observamos un coeficiente de correlación de 0.75 que desde el punto de vista clínico es aceptable, por lo que sugerimos proporcionar este aporte energético.<sup>3</sup>

También observamos una correlación clínico-metabólica entre los criterios de SRIS-sepsis del ACCP/SCM y el GER, es decir, en estas condiciones existe un incremento simultáneo y gradual del GER que va de acuerdo a la progresión jerárquica del síndrome (*cuadro II*).

Debido al costo del equipo de calorimetría indirecta y su mantenimiento, éste no siempre está disponible en todas las unidades de cuidados intensivos, por esto es que desarrollamos un método práctico para predecir el gasto GER en pacientes con asistencia mecánica ventilatoria por medio de capnometría y la ecuación de Weir modificada.<sup>5</sup> Los equipos de capnometría-capnografía por su costo son un equipo habitual en la unidad de cuidados intensivos y son capaces de determinar la producción de  $\text{VCO}_2$  mL/min la cual extrapolada a la ecuación de Weir modificada y usando un cociente respiratorio fijo en 0.83, proporciona el gasto energético en la siguiente fórmula  $\text{GE} = (5.799 \times \text{VCO}_2)$

**Cuadro II. Cálculo y medición del gasto energético en pacientes graves en estado crítico.**

Comparación del gasto energético en reposo medido por calorimetría indirecta.

Diagnóstico	No. pacientes	$\bar{X}$ kcal/24 horas
Hipotiroidismo	2	930 $\pm$ 146
Sano	4	1440 $\pm$ 223
Sepsis grave*	3	2417 $\pm$ 312
Choque séptico	2	1755 $\pm$ 306

\* Criterios del American College of Chest Physician/Society of Critical Care Medicine

x 1440 min/día x 1 L/1000. En este estudio comparamos en 14 pacientes en el postoperatorio inmediato de cirugía neurológica los resultados del GER medido por calorimetría indirecta (Deltatrac II MBM 200) vs los obtenidos por medio de capnometría asociada con la fórmula de Weir  $1548 \pm 250$  kcal/día vs  $1466 \pm 253$  kcal/día por CI ( $r = 0.76$ ,  $P < 0.05$ ). La diferencia clínica entre los dos métodos fue menor de 250 kcal/día.<sup>3,4</sup>

Conocer el GER de los pacientes graves y en estado crítico facilita la prescripción de nutrientes, asimismo por la correlación que existe entre SRIS y el GER es un indicador que permite evaluar con mayor objetividad la respuesta a la terapéutica instituida.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue financiado parcialmente por el fondo para el fomento a la investigación (IMSS-FOFOI) FP0121

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Torres-Rocío E, Miranda-Ruiz R, Castañón-González JA. *Cálculo del requerimiento energético para pacientes graves en estado crítico por dos métodos utilizando el Índice de Masa Corporal (IMC)*. VI Congreso Nacional de la Asociación de Alimentación Enteral y Endovenosa Puerto Vallarta, Jalisco. México, 1995; 28-30.
2. Torres-Rocío E, Castañón-González JA, Miranda-Ruiz R. *Comparación de cuatro fórmulas para obtener el peso ideal en pacientes de la unidad de cuidados intensivos*. XXIII Reunión Nacional de Medicina Crítica y Terapia Intensiva Veracruz, Ver. México, 1996; 4-7.
3. Torres-Rocío E, Castañón-González JA, Miranda-Ruiz R. *Comparación del Gasto Energético obtenido por calorimetría indirecta y el índice de Masa Corporal*. VII Congreso Nacional de la Asociación de Alimentación Enteral y Endovenosa Ciudad de México. México, 1996; 24-28.
4. Miranda-Ruiz R, Castañón-González JA, Espinoza de los Monteros L, Vázquez de Anda G, Gallegos-Pérez H, León-Gutiérrez MA. Gasto energético en pacientes graves y en estado crítico. *Gac Med Méx* 1996; 132: 459-460.
5. Espinoza de los Monteros L, Castañón-González JA, Miranda-Ruiz R, Torres-Rocío E, León Gutiérrez MA. *A practical method to predict resting energy expenditure in postoperative neurosurgical patients in controlled mechanical ventilation using capnometry and modified Weir equation. Correlations with indirect calorimetry*. The 7<sup>th</sup> World Congress of Intensive and Critical Care Medicine. Ottawa-Canada Jun 29-Jul 3, 1997.
6. Miranda-Ruiz R, Castañón-González JA, Morales-Lozada R, Torres-Rocío E, León-Gutiérrez MA, Gallegos-Pérez H. Gasto energético y estado metabólico en pacientes con preeclampsia aguda grave con y sin sepsis asociada. *Rev Med IMSS* 1998; 136 en prensa.

**Correspondencia:**

Dr. Jorge Alberto Castañón González  
Unidad de Cuidados Intensivos y Medicina Crítica, Sección de Apoyo Metabólico Nutricional. Hospital de Especialidades Centro Médico Nacional Siglo XXI  
Av. Cuauhtémoc # 330  
Col. Doctores. C.P. 06700 México, D.F.