

Gasto energético en reposo. Métodos de evaluación y aplicaciones

Raquel Blasco Redondo

¹Especialista en Medicina Interna. Centro Regional de Medicina Deportiva de la Junta de Castilla y León. Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid. Valladolid. España.

Resumen

El gasto energético total diario de un individuo (GETD) representa la energía que el organismo consume. Está constituido por la suma de: tasa metabólica basal (TMB), termogénesis endógena (TE) y gasto energético ligado a la actividad física (GEAF).

La determinación del GETD considerando la actividad física y el estado de salud de una persona, es muy importante para ajustar el cálculo de la necesidad nutricional para cada individuo.

La TMB es la mínima cantidad de energía que un organismo requiere para estar vivo. Constituye del 60 al 70% del GETD en la mayoría de los adultos sedentarios, en tanto, en los individuos físicamente muy activos es de aproximadamente el 50%. Varía dependiendo de la composición corporal, especialmente de la masa corporal magra.

El metabolismo basal expresado como TMB, es diferente a la tasa metabólica en reposo (TMR) o Gasto Energético en Reposo (GER); este último se obtiene cuando la determinación se hace en reposo y en las condiciones descritas para pero no en ayuno, incluyendo por tanto la energía utilizada para el aprovechamiento biológico de los alimentos.

Habitualmente, el GER se determina por medio de diferentes técnicas como la calorimetría indirecta, la bioimpedancia eléctrica, el agua doblemente marcada, las ecuaciones predictivas, entre otras. Estos métodos son utilizados en la práctica clínica y en estudios científicos. Sin embargo, debido a la inconsistencia de los resultados de estas investigaciones, todavía no hay un consenso respecto a su aplicabilidad aunque la evidencia señala que la medición del consumo de oxígeno, es el método de mayor precisión.

Objetivos: Esta revisión tiene como objetivo exponer los componentes del gasto energético en reposo, así como las técnicas para su determinación y estimación, señalando sus ventajas, limitaciones y aplicaciones prácticas.

Resultados: Parte de las técnicas de evaluación del gasto energético descritas en esta revisión, quedan relegadas, por su complejidad y coste al ámbito de la investigación. Durante mucho tiempo la calorimetría indirecta, quedó también restringida a este campo. Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos precisos ligeros y asequibles que permiten que en la actualidad sea un método muy útil en el espacio clínico de la determinación del GER.

Palabras clave: *Gasto energético en reposo. Métodos. Ecuaciones. Calorimetría indirecta. Aplicaciones.*

Correspondencia: Raquel Blasco Redondo.
Centro Regional de Medicina Deportiva de la Junta de Castilla y León.
Avda Real de Burgos, s/n.
47071 Valladolid. España.
E-mail: raquelblasco92@hotmail.com

RESTING ENERGY EXPENDITURE; ASSESSMENT METHODS AND APPLICATIONS

Abstract

The energetic expense daily total of an individual (EEDT) represents the energy that the organism consumes. It is constituted by the sum of: metabolic basal rate (MBR), termogenesis endogenous (TE) and energetic expense linked to the physical activity (EEPA).

The determination of the EEDT considering the physical activity and the state of health of a person, it is very important to fit the calculation of the nutritional need for every individual.

The MBR is the minimal quantity of energy that an organism needs to be alive. It constitutes a from 60 to 70% of the EEPA in the majority of the sedentary adults, while, in the physically very active individuals it is of approximately 50%. It changes depending on the corporal composition, specially on the corporal lean mass.

The basal metabolism expressed as MRB, it is different from the metabolic rate in rest (MRR) or Resting energy expenditure (REE); the latter is obtained when the determination is done in rest and in the conditions described for the MRB but not in fasting, including therefore the energy used for the biological utilization of the food.

Habitually, the REE decides by means of different technologies as the indirect calorimetry, the electrical bioimpedance, the doubly marked water, the predictive equations, between others. These methods are used in the clinical practice and in scientific studies. Nevertheless, due to the inconsistency of the results of these researches, still there is no a consensus with regard to his applicability though the evidence indicates that the measurement of the consumption of oxygen, it is the method of major precision.

Aims: This review has as aim expose the components of the energetic expense in rest, as well as the technologies for its determination and estimation, indicating its advantages, limitations and practical applications.

Results: Part of the technologies of evaluation of the energetic expense described in this review, they remain relegated, for its complexity and cost to the area of the investigation. For a long time the indirect calorimetry, she remained also restricted to this field. Nevertheless, the technological advances have allowed the development of precise light and attainable equipments that allow that at present it should be a very useful method in the clinical space of the determination of the REE.

Key words: *Resting energy expenditure. Methods. Equations. Indirect calorimetry. Applications.*

Abreviaturas

GETD: Gasto Energético Total Diario.
GER: Gasto Energético en Reposo.
TMB: Tasa metabólica basal.
TE: Termogénesis endógena.
ETA: Efecto térmico de la alimentación.
GEAF: Gasto energético ligado a la actividad física.
MLG: Masa libre de grasa.
DEXA: Absorciometría de doble energía radiológica.
ACT: Agua corporal total.
BIA: Impedancia bioeléctrica.
GE: Gasto energético.
AF: Actividad física.
PAL: Nivel de actividad física (PAL: Physical Activity Level).
QR: Cociente respiratorio.
CI: calorimetría indirecta.
CD: Calorimetría directa.
FC: frecuencia cardíaca.
VO2: consumo de Oxígeno.
EP: ecuaciones predictivas.

Introducción

En todos los aspectos de la fisiología se busca el equilibrio, la homeostasis. En el campo del balance energético no podía ser de otra manera.

Cuando hablamos del balance calórico de un organismo, este responde al equilibrio dinámico entre ambos extremos de la siguiente ecuación:

$$\text{Aporte energético} = \begin{array}{l} \text{Gasto Energético Total Diario (GETD)} \\ + \text{Energía Excretada} \\ + \text{Energía almacenada en forma de tejido} \end{array}$$

En esta aportación vamos a hablar de Gasto Energético en Reposo, (GER) pero antes de comenzar debemos definir una serie de términos.

El gasto energético total diario de un individuo (GETD) representa la energía que el organismo consume; está constituido por la suma de:

1. La tasa metabólica basal (TMB) (que es la resultante de la suma del gasto energético del sueño (GE del sueño) y el coste energético del mantenimiento de la vigilia).
2. La termogénesis endógena (TE) (que incluye el efecto térmico de la alimentación (ETA)).
3. Y finalmente el gasto energético ligado a la actividad física (GEAF) (suma de la actividad física espontánea y de la actividad física voluntaria no restringida).

Habitualmente, el gasto energético en reposo (GER) se determina por medio de ecuaciones predictivas, pero la evidencia señala que la medición del consumo de oxígeno, es el método de mayor precisión^{1,2}.

Otro determinante del GER, es la **composición corporal**, especialmente la masa libre de grasa (MLG); existen diferentes métodos para determinarla, entre ellos la densitometría, la absorciometría de doble energía radiológica –DEXA–, la tomografía, la medición del agua corporal total (ACT), la antropometría y la impedancia bioeléctrica (BIA). El uso de éste último se ha extendido pues no es invasivo, presenta una rápida aplicación, bajo costo, y seguridad. Sin embargo, en la práctica, el método más usado para determinar la composición corporal, por su facilidad de aplicación, bajo costo, y alta precisión es la antropometría, el cual ha sido ampliamente validado con otros de mayor precisión como los isotópicos y los densitométricos.

Por último, la TE representa cerca del 10% del GETD y la GEAF representa entre el 25-75% del GETD (amplio abanico dependiendo de la actividad física del individuo).

Gasto energético en reposo. Definición. Relación con GETD, TE y GAF

Gasto energético en reposo. Relación con el gasto energético total diario

Como ya hemos visto antes, el gasto energético total diario (GETD), comprende el gasto energético basal (GEB), también denominado tasa metabólica basal (TMB), el GEAF y la TE.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define el GETD como "el nivel de energía necesario para mantener el equilibrio entre el consumo y el gasto energético, cuando el individuo presenta peso, composición corporal y actividad física compatibles con un buen estado de salud, debiéndose hacer ajustes para individuos con diferentes estados fisiológicos como crecimiento, gestación, lactancia y envejecimiento"³.

Gasto energético en reposo. Relación con la tasa metabólica basal

La TMB es la mínima cantidad de energía que un organismo requiere para estar vivo y representa del 60-70% del total del gasto energético (TGE), en la mayoría de los adultos sedentarios, (aunque a lo largo de la exposición iremos aclarando estos términos)

La TMB representa, por tanto la integración de la actividad mínima de todos los tejidos del cuerpo en condiciones de equilibrio, se expresa como producción de calor o consumo de oxígeno por unidad de tamaño corporal (MET).

Un MET es el consumo energético de un individuo en estado de reposo, lo cual equivale aproximadamente a 1 kcal por kg de peso y hora, es decir, 4,184 kJ por kg de peso y hora².

Mitchell, definió la TMB como la "tasa mínima de gasto energético compatible con la vida". Constituye del 60 al 70% del GE diario en la mayoría de los adultos

sedentarios, en tanto, en los individuos físicamente muy activos es de aproximadamente el 50%; varía dependiendo de la composición corporal, especialmente de la masa corporal magra^{1,4}.

Margus-Levy en 1899 introdujo el término metabolismo basal y estableció que su medición debería efectuarse en las siguientes condiciones:

Sujeto totalmente descansado antes y durante las mediciones, acostado, en estado de vigilia, en ayuno de 10-12 horas, en condiciones controladas de temperatura (22-26 C°), en ausencia de infección y libre de estrés emocional^{5,6}.

El metabolismo basal expresado como TMB, es diferente a la tasa metabólica en reposo (TMR) o al GER; este último se obtiene cuando la determinación se hace en reposo y en las condiciones descritas para la TMB pero no en ayuno, incluyendo por tanto la energía utilizada para el aprovechamiento biológico de los alimentos.

Por tanto el GER es la TMB tomada no en ayunas.

Estas mediciones, difieren en menos del 10% y ambos términos se tienden a utilizar indistintamente, aunque en la actualidad se utiliza más la denominación de GER⁷.

Existen varias características fisiológicas que hacen que el GER varíe de unas personas a otras, las principales son el tamaño, la composición corporal, la edad, el sexo y la producción de hormonas⁸.

Gasto energético en reposo. Relación con la Termogénesis Endógena (TE) y el efecto térmico de la alimentación (ETA)

El coste energético inherente a la capacidad de regular la temperatura corporal y mantenerla estable en condiciones ambientales desfavorables representa, en general una pequeña fracción del gasto energético total. No obstante, unido a él, debe también considerarse la termogénesis producida durante los procesos de digestión, absorción, transporte, metabolismo y almacenamiento de los macronutrientes.

El efecto térmico de la alimentación (ETA) se refiere al aumento del gasto energético (GE) producido después del consumo de alimentos, y corresponde a la energía necesaria para la digestión, absorción, transporte, metabolismo y almacenamiento de los macronutrientes.

La intensidad y la duración del ETA están determinadas por la cantidad y composición de los alimentos consumidos.

El incremento en el GE varía de 5-10% para carbohidratos, 0-5% para grasas, y de 20- 30% para proteínas. El consumo de una dieta mixta produce un incremento en el GE equivalente al 10% de la energía contenida en los alimentos⁹.

Los dos componentes del ETA son la termogénesis obligatoria y la facultativa. La primera es modulada por factores como la actividad del sistema nervioso simpático y la tolerancia a la glucosa; representa las dos terceras partes del efecto térmico de los alimentos.

El componente facultativo corresponde a la tercera parte del ETA y está relacionado con las fases cefálicas y posprandial de la alimentación;

De hecho se ha sugerido la necesidad de distinguir entre los efectos a corto y largo plazo de la alimentación, eligiendo el término de termogénesis postprandial para referirse a las horas siguientes a la ingesta de alimentos y reservando el término "termogénesis inducida por la alimentación" solamente para designar el componente a largo plazo, el cual depende del efecto mantenido de la ingesta de niveles por encima o por debajo de las necesidades energéticas.

Este componente facultativo presenta una actividad mayor en algunos tejidos como el músculo esquelético debido a la activación del sistema nervioso simpático y de los receptores beta-adrenérgicos, los cuales estimulan el metabolismo celular^{10,11}.

Gasto energético en reposo. Relación con el GEAF

El Gasto ligado a la actividad física (GEAF) puede subdividirse a su vez en:

- Un gasto energético destinado a mantener las necesidades físicas espontáneas (que parece ser un rasgo notablemente familiar).
- Un gasto derivado de la actividad física voluntaria, determinado principalmente por la intensidad y la duración de la actividad realizada y por el propio peso corporal del individuo.

De hecho, esta clasificación está conforme a la realizada por La FAO-WHO-UNU (2001)¹² quienes consideran dos tipos de actividad física (AF): las actividades obligatorias relacionadas con el trabajo, el estudio y la atención del hogar y las actividades discrecionales referidas a la actividad física regular, la recreación y la interacción social, consideradas importantes porque mantienen la salud, proporcionan bienestar y mejoran la calidad de vida.

El GEAF varía entre el 25 y el 75% del GETD. El periodo de la vida de mayor disminución brusca del GEAF es entre la adolescencia y el adulto joven. Durante esta etapa, la actividad total (min/semana) y el tiempo de actividad recreativa habitual (MET/semana) disminuye marcadamente en hombres (31%) y en mujeres (83%). Los estudios de GEAF y de GETD durante este periodo reflejan cambios importantes en los hábitos de vida, sociodemográficos y biológicos, factores que pueden estar asociados con un incremento del riesgo de obesidad y de comorbilidades¹³.

El GEAF es muy variable entre individuos y puede cambiar día a día. En personas sedentarias, cerca de dos terceras partes del GET se emplean en el metabolismo basal, mientras que sólo una tercera parte se gasta en GEAF. En individuos muy activos, el GETD puede elevarse hasta el doble de la TMB; el gasto puede ser aún mayor en algunos atletas y en quienes realizan trabajos pesados.

El nivel de actividad física (PAL Physical Activity Level) se describe como la proporción entre el GET y la TMB y se usa para determinar la cantidad e intensidad de la AF habitual de un individuo¹³.

Tabla I

Criterio	Adultos sanos
Ayuno	Mínimo de 4 a 5 horas después de una comida liviana, en quienes no es apropiado un ayuno prolongado
Ingestión de alcohol	Abstención mínima de 2 horas
Uso de nicotina	Abstención mínima de 2 horas
Ingestión de cafeína	Abstención mínima de 4 horas
Período de reposo	10-20 minutos antes de la prueba
Restricción de actividad física	Abstención de ejercicio aeróbico moderado o de ejercicio anaeróbico mínimo 2 horas antes de la prueba y de 14 horas, en personas que practiquen ejercicio vigoroso de resistencia
Condiciones ambientales	Temperatura entre 20 a 25°C, condiciones confortables
Dispositivos para la recolección	Adherencia rigurosa para prevenir escapes de los gases Estado de equilibrio (Steady-state) Descartar los 5 minutos iniciales; luego alcanzar un período de 5 minutos con condiciones e intervalos 10% CV para la producción de oxígeno (VO ₂) y de dióxido de carbono (VCO ₂)
Número mediciones/24 horas	Lo ideal es alcanzar el estado de equilibrio en una medición, si no es posible, 2 o 3 mediciones no consecutivas mejoran la precisión
Variación en la repetición	3-5% en las realizadas dentro de las primeras 24 horas y alrededor del 10% de mediciones después de semanas o meses
Cociente respiratorio (QR)	QR < 0,7 o > 1,0 sugiere incumplimiento del protocolo o imprecisión en la medición de gases

Hasta hace muy pocos años el GEAF era el gasto más difícil de determinar. En la actualidad, la utilización de isótopos estables permite estudiar el gasto energético diario en condiciones de vida habituales y durante largos períodos de tiempo, a partir de lo cual y en combinación con otros métodos, es posible deducir el compartimiento ligado a la actividad física.

Si no se disponen de estos métodos analíticos, existen diversas tablas que permiten estimar un valor de gasto energético para distintas actividades físicas¹².

Gasto energético en reposo. Medición. Condiciones

El GER puede ser estimado o medido; la medición es más precisa que la estimación, siempre y cuando se controlen los factores que pueden introducir modificaciones, como son la energía inducida por la alimentación, el consumo de alcohol, el uso de nicotina, la AF, la temperatura ambiental, la posición del individuo durante la prueba y el tiempo de medición.

Las recomendaciones establecidas por la Asociación Americana de Dietistas para mejorar la precisión de esta medición aparecen en la tabla I (tomada de ¹⁴).

Gasto energético en reposo. Técnicas y métodos de medición

Los componentes del GE, es decir el metabolismo basal y el gasto que requiere cualquier AF, se pueden determinar por calorimetría, la cual puede ser directa o indirecta⁷. Además de la calorimetría, existen otros

métodos para determinar el GER y el requerimiento de energía: las ecuaciones predictivas, la impedancia bioeléctrica y el agua doblemente marcada¹.

Los siguientes son los métodos más utilizados:

– *Calorimetría directa*. El GETD puede determinarse por la medición de la cantidad de calor producida por el organismo. Este procedimiento se realiza en cámaras herméticas con paredes aislantes, en donde se confina al sujeto y se registra el calor almacenado y el perdido por radiación, convección y evaporación; se precisa un mínimo de seis horas para estabilizar el sistema; el método más conocido es la cámara de Atwater, en la cual el calor producido es absorbido por el agua que pasa a través de ésta y cuantificado mediante termosensores o termómetros que registran la temperatura a la entrada y a la salida en un tiempo determinado.

Como se puede deducir, es un método complejo y difícil de realizar en la práctica, por tanto su uso ha sido de carácter investigativo o para valorar métodos indirectos⁷.

– *Calorimetría indirecta*. Bajo el supuesto de que la energía química de un sustrato se obtiene en el organismo tras su completa oxidación con el consiguiente consumo de oxígeno y liberación de dióxido de carbono y agua, es posible estimar la cantidad de calor total producido en el organismo a partir de la determinación del volumen de ambos gases.

No obstante, si bien este supuesto es cierto para los hidratos de carbono y las grasas, no se cumple para las proteínas.

Durante los procesos de oxidación proteica la fracción nitrogenada no se oxida completamente siendo en parte

eliminada en forma de nitrógeno ureico todavía energético. Considerando que el nitrógeno corresponde a 16% de un pool teórico de proteínas, se admite que la pérdida urinaria de 1 gr de nitrógeno corresponde a la energía producida durante la oxidación de 6,25 g de proteína.

Por lo tanto, a partir de las medidas de los gases consumidos y liberados durante los procesos oxidativos, se pueden estimar el gasto energético basal o de reposo, en estos términos esta basada la calorimetría indirecta (CI).

La CI pues es un método no invasivo que permite estimar la producción de energía equivalente a la TMB¹⁵ y la tasa de oxidación de los sustratos energéticos. La denominación de indirecta señala que el gasto metabólico se determina por medio de los equivalentes calóricos del oxígeno (O₂) consumido y del dióxido de carbono (CO₂) producido, cuyas cantidades difieren según el sustrato energético que esté siendo utilizado.

La producción de energía corresponde a la conversión de la energía química contenida en los nutrientes en energía química almacenada como ATP y, en la energía disipada como calor, durante el proceso de oxidación. Si se admite que todo el O₂ consumido se utiliza para oxidar los sustratos energéticos (proteínas, carbohidratos y lípidos) y, que todo el CO₂ producido se elimina por la respiración, es posible calcular la energía total producida por los nutrientes¹.

La CI se basa en el principio del intercambio de gases; la respiración en un calorímetro produce depleción de O₂ y acumulación de CO₂ en la cámara de aire.

La cantidad de O₂ consumido y de CO₂ producido se determina multiplicando la frecuencia de ventilación, típicamente de 1 L/seg, por el cambio en la concentración del gas. El GE se calcula usando el consumo de O₂, la producción de CO₂.

El cociente respiratorio es un componente importante en la determinación de la CI y se define como la relación que existe entre la producción de CO₂ y el consumo de O₂; tiene un valor de 1,0 para la oxidación de carbohidratos, de 0,81 para la proteína y de 0,71 para la grasa¹⁶.

En la actualidad, se comercializan dos tipos de calorímetros indirectos cuya diferencia radica en el método de obtención y almacenamiento del aire respirado: Los basados en sistemas de circuito cerrado y en sistemas de circuito abierto.

– *CI en circuito cerrado.* Este método es en la actualidad especialmente adecuado para el estudio de pequeños animales, no es útil en el estudio humano, ya que a pesar de no requerir analizadores de oxígeno ni de dióxido de carbono, no permite períodos de monitorización superiores a 20 minutos.

– *CI en circuito abierto.* Este método consiste en la circulación de aire de flujo y composición conocidos (O₂ 14,978%, CO₂: 5,004% y N₂ 79,987%) y en la determinación del decremento de oxígeno y aumento de CO₂ en el aire espirado por el paciente. En este sistema el CO₂ producido es absorbido dentro del sistema, y se adiciona O₂ para mantener constante el volumen del gas.

A pesar del elevado coste de los sistemas infrarrojos y para magnéticos necesarios para la respiración de los gases espirados y de las posibles fugas que pueden producirse durante su recogida, los calorímetros más usados se basan en este sistema, puesto que ofrecen una elevada precisión y permiten realizar las medidas metabólicas a medio plazo.

Existen diferentes métodos de CI abierto en función del sistema de recogida del aire espirado. Entre ellos la bolsa de Douglas, Oxilog, capota ventilada, calorímetro de canopy y de cuerpo entero.

En el método con máscara, el paciente se conecta a una mascarilla bucal, mientras que en el método de cámara de cuerpo entero, requiere una infraestructura mucho más compleja.

Existen pocos estudios que comparan calorimetría con circuito abierto y cerrado, sin embargo, se menciona que el circuito cerrado sobreestima el GER⁵.

Me interesa destacar aquí una serie de limitaciones de la técnica que deben considerarse en la estimación del gasto. Aparte de la variabilidad de la precisión de los propios sistemas de medida incorporados a los equipos, todas las situaciones fisiológicas capaces de alterar en algún sentido el intercambio gaseoso del organismo, pueden alterar la estimación del gasto metabólico. Como por ejemplo: cambios en el equilibrio ácido-base, estado de hiper o hipoventilación, modificaciones en el pool de CO₂, debidas a pérdidas cutáneas (uso de vasodilatadores) o incluso reacciones propias del metabolismo intermedio deben de considerarse en el momento de evaluar el estado metabólico del individuo.

Impedancia bioeléctrica (BIA)

Es un método que estima los compartimentos corporales, incluida la cantidad de líquido en los espacios intra y extracelulares. Esta técnica se basa en la resistencia al paso de la corriente alterna. El tejido magro es altamente conductor debido a la gran cantidad de agua y electrolitos que contiene, por tanto ofrece baja resistencia; por el contrario la grasa, la piel y el hueso son medios de baja conductividad y por ende de alta resistencia. En la actualidad se dispone de básculas que tienen incorporadas en su software las ecuaciones para determinar la TMB¹². Sin embargo la dispersión de los resultados es importante.

Métodos de no reposo

A pesar de que nos estamos refiriendo a la medición del GER. Existen métodos de evaluación de No reposo que nos pueden resultar útiles para ello.

CI en cámara corporal total

En la que el individuo puede permanecer durante días en condiciones de semirreposo. Esta es una técnica teóricamente muy simple, pero muy especializada, requiere

una estructura compleja y el uso de costosos instrumentos de medición. Con todo, la gran limitación radica en que presenta un ambiente artificial y por lo tanto, no comparable con las condiciones de vida libre.

Calorimetría directa CD

Una diferencia crucial entre este método y la CI en cámara es que en este caso se requiere calcular todo el calor que entra o sale de la cámara, lo que complica metodológicamente la técnica. Es potencialmente el método más preciso, en condiciones estrictamente controladas, lo que lo convierte en uno de los métodos de referencia para validar otros métodos de medición del GETD y del GER. Sin embargo, el enorme costo económico y la compleja estructura que requiere lo relegan al campo de la investigación.

Registro de la frecuencia cardíaca

Esta técnica se basa en el hecho de que la frecuencia cardíaca (FC) aumenta con la actividad física y que este incremento se relaciona estrechamente con el consumo de oxígeno dentro de un intervalo razonable.

La colocación de un sistema de registro continuo de la FC, permitiría, al menos en teoría, la estimación del gasto energético a partir del consumo de oxígeno, durante períodos de tiempo prolongados, en los cuales el individuo podría realizar sus actividades habituales.

Para ello, es preciso establecer individualmente la recta de regresión existente entre FC y VO₂. Esta primera estimación se haría determinando simultáneamente la FC y el VO₂ mediante CI en reposo y también durante la realización de ejercicios de intensidad variable.

El problema básico es que la relación lineal de ambas variables, se pierde con niveles bajos de FC (en los que suelen estar la mayoría de los individuos que realizan actividades moderadas) a este punto donde se pierde la linealidad, se denomina FCflex.

Por ello, en lugar de predecir la media del gasto energético a partir de la media de la FC, se prefieren sistemas de recolección de FC minuto a minuto.

A partir de aquí el GETD se calcula suponiendo el GEB para los períodos de sueño, el GEBx1,35 para períodos de vigilia con FC por debajo de FCflex y aplicando la recta de calibración para todos los demás períodos.

Entre las ventajas: Bajo coste, sencillez y la posibilidad de determinar GETD en condiciones reales.

Inconvenientes: Proceder a calibraciones individuales, asegurar el contacto constante de los electrodos y conocer que los cambios en las condiciones ambientales pueden incidir de forma notable.

Agua doblemente marcada

Administración vía oral de una dosis de agua doblemente marcada con dos isótopos estables deuterio y O y

posterior cuantificación por espectrometría de masas del enriquecimiento isotópico de cualquier fluidos (saliva, orina, heces...) recogido en un tiempo superior a siete días.

El Deuterio se distribuye exclusivamente por el agua, pero el O por el agua y los bicarbonatos. La diferente eliminación de los dos isótopos no permite hallar la eliminación del CO₂ y por ende estimar el GETD. La precisión es superior a la de CI en cámara en un 4%¹⁷.

Pero el elevado coste y la dificultad en la interpretación de los resultados relegan su uso, de momento a la investigación.

Método de dilución del bicarbonato

Similar a la anterior pero a través de la infusión previa con bicarbonato marcado. Este método requiere diversos supuestos y correcciones, y dado que para la determinación final se refiere a la producción de CO₂ y VO₂, es necesario considerar el cociente respiratorio medio, similar a la técnica previa.

Métodos estimativos

Ecuaciones predictivas. La determinación de la necesidad de energía es un componente básico en la planeación de la alimentación debido a que el balance entre consumo y GE tiene implicaciones importantes para la salud. En la práctica, es común utilizar ecuaciones de referencia para estimar el GEB y aplicar el método factorial para determinar el requerimiento energético diario.

Las ecuaciones predictivas (EP) usualmente han sido desarrolladas con personas sanas y están basadas en análisis de regresión que incluye peso, altura, sexo y edad como variables independientes y en la medición del GER por CI como variable dependiente; por ejemplo, la ecuación de la FAO/WHO/UNU 1985 tiene en cuenta el sexo, los grupos de edad y el peso. Otros autores tienen en cuenta el índice de masa corporal (IMC)¹⁸.

Las principales EP que se han elaborado para la estimación de la TMB son:

– *Ecuación de Harris y Benedict.* La publicación original data de 1919, los estudios realizados por estos autores se basaron en mediciones de GMB de 136 hombres y 103 mujeres en el Laboratorio de Nutrición de Carnegie en Boston; se usaron métodos estadísticos rigurosos que dieron como resultado las siguientes ecuaciones¹⁹:

$$\begin{aligned} \text{Hombres GMB} &= 66.4730 + 13.7516 \times P + 5.0033 \times T - 6.7759 \times E \\ \text{Mujeres GMB} &= 665.0955 + 9.5634 \times P + 1.8496 \times T - 4.6756 \times E \end{aligned}$$

P = peso en Kg, T = talla en cm, E = edad en años.

– *Ecuación de Quenouille.* Quenouille y cols. en 1951 fueron los primeros en elaborar un estudio con base

en determinaciones de la TMB; los datos de Quenouille incluyeron personas que habitaban en el trópico y se orientaron a examinar el papel de la etnicidad y del clima sobre la TMB, sin embargo, la ecuación no ha sido muy utilizada.

Estos datos fueron incluidos posteriormente en las bases de información de Shofield y Oxford²⁰.

$$\text{TMB (Kcal/día)} = 2.975 \times T + 8.90 \times P + 11.7 \times SC + 3.0 h - 4.0 t + 293.8$$

T = altura en centímetros, P = peso en kilogramos, SC = superficie corporal de DuBois, h = Humedad y t = temperatura.

– *Ecuaciones de Shofield (FAO/WHO/UNU) 1985*. El Comité de Expertos de la FAO/WHO/UNU en 1985, desarrolló una serie de EP para estimar el requerimiento energético con base en algunas premisas: el requerimiento energético se debe fundamentar en la medición del GE y no en la ingesta; el organismo tiene la capacidad para adaptarse a ingestas bajas y, el requerimiento se refiere a grupos y no a individuos.

Este Comité adoptó el método factorial y propuso la aplicación de múltiplos de la TMB; en las ecuaciones. Consideraron edad, sexo y peso corporal.

Se utilizaron como base principalmente los datos de los estudios de Shofield, sin embargo, estos presentaban limitaciones tales como: pocos datos sobre lactantes, adolescentes y adultos mayores; carencia de datos de personas provenientes de países en desarrollo; poca variabilidad étnica y geográfica (se incluyó un número desproporcionado de italianos, 47%) y baja inclusión de individuos de regiones tropicales²¹.

Los niveles de AF y los factores que se consideraron para calcular el GET fueron: Género y actividad^{21,22}.

Género	Actividad leve	Actividad moderada	Actividad pesada
Hombre	1,55	1,76	2,10
Mujer	1,56	1,64	1,82

– *Ecuaciones de Oxford*. Entre 1980 y 2000, un grupo de expertos seleccionó estudios de medición del GE que incluyeron los siguientes aspectos:

Tabla II
Ecuaciones de Oxford para estimar Tasa Metabólica Basal (TMB) según edad y con inclusión de variables de peso y talla

Género	Edad/años	TMB (kcal/día)
Hombres	10-18	15,6 x P + 266 x T + 299
	18-30	14,4 x P + 313 x T + 113
	30-60	11,4 x P + 541 x T - 137
	> 60	11,4 x P + 541 x T - 256
Mujeres	10-18	9,40 x P + 249 x T + 462
	18-30	10,4 x P + 615 x T - 282
	30-60	8,18 x P + 502 x T - 11,6

Edad, peso y género; descripción de las condiciones experimentales y del equipo usado para la medición del GMB; mediciones en sujetos sanos, en estado postabsorptivo y sin AF previa y, descripción de la etnia y de la localización geográfica. De la base de datos se excluyeron a todos los sujetos italianos de los estudios de Shofield y se incluyeron datos de habitantes de los trópicos. A partir de estas variables se generó una base de datos denominada de Oxford, la cual tomó en cuenta 10552 valores de TMB.

Con las ecuaciones desarrolladas (tabla II) los valores de la TMB, en mayores de 18 años fueron más bajos que los obtenidos con las ecuaciones de la FAO/WHO/UNU de 1985⁵.

La comparación entre las ecuaciones de Oxford teniendo en cuenta el peso corporal y las de la FAO/WHO/UNU 1985 para estimación de TMB se muestra en la tabla III.

– *Ecuaciones de FAO/WHO/UNU (2001)*. Se desarrollaron a partir de la base de datos de Shofield utilizada en la estimación de la TMB (1985); se consideraron tres niveles de AF y se optó por rangos para cada categoría; además, se adoptó el término de estilo de vida más que el de ocupación laboral para definir el nivel de AF^{23,24}:

Sedentario o estilo de vida con actividad leve:	1,40-1,69
Activo o estilo de vida moderadamente activo:	1,70-1,79
Vigoroso o estilo de vida vigorosamente activo:	2,0-2,4

Tabla III
Comparación entre las ecuaciones de Oxford y las de la FAO/WHO/UNU 1985 para estimación de TMB P: peso en Kg.
Fuente: Henry CJK. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. Public Health Nutrition 2005; 8 (7A): 1133-1152

Género	Edad/años	OxfordTMB (Kcal/día)	FAO/WHO/UNU 1985 TMB (Kcal/día)
Hombres	10-18	18,4 x P + 581	17,686 x P + 658,2
	18-30	16,0 x P + 545	15,057 x P + 692,2
	30-60	14,2 x P + 593	11,472 x P + 873,1
	> 60	13,5 x P + 514	11,711 x P + 587,7
Mujeres	10-18	11,1 x P + 761	13,384 x P + 692,6
	18-30	13,1 x P + 558	14,818 x P + 486,6
	30-60	9,74 x P + 694	8,126 x P + 845,6

Históricamente, los nutricionistas dietistas han utilizado las EP para estimar el GER, pero los estudios de validación han encontrado que estas ecuaciones pueden sobrestimar o subestimar el requerimiento energético; en algunos, el error reportado es del 20% y en otros, la imprecisión es del orden de 200 Kcal, que aunque leve, es importante, ya que puede promover la ganancia de peso en adultos.

– Ecuación de Cunningham. En la cual la variable que se emplea es el peso de la masa libre de grasa (previamente obtenida por alguno de los métodos de medición de la composición corporal preferentemente por cineantrópometría).

$$\text{Gasto metabólico basal (kcal/día)} = \text{Masa libre de grasa (grs)} \times 21,6 + 370$$

La ecuación de Harris y Benedict es la más antigua y la más utilizada; los estudios sugieren que esta ecuación sobrestima la TMB entre el 10 y el 15%, especialmente en personas de bajo peso.

La de la FAO/WHO/UNU, validada por Muller (2004) también sobreestima el GER en algunas comunidades.

La ecuación de Schofield y la de la FAO/WHO/UNU no tienen en cuenta la talla porque consideran que no contribuye a la estimación del GER en individuos sanos (menos del 0,1% del valor del GER preestablecido), están basadas únicamente en el peso. Sin embargo, el Instituto de Medicina de los Estados Unidos afirma que la inclusión de esta variable puede reducir levemente el error de predicción¹⁸.

Actualmente, se considera que el clima es una variable condicionante, porque puede influir en la TMB; las personas que viven en clima cálido tienden a tener una TMB más baja que quienes viven en clima frío, aún después de ajustar por tamaño y composición corporal; por lo tanto, es posible que el cambio climático y las migraciones a otras zonas geográficas afecten, al menos parcialmente, la TMB.

Aplicación clínica y práctica

Parte de las técnicas de evaluación del gasto energético descritas anteriormente, quedan relegadas, por su complejidad y coste al ámbito de la investigación. Durante mucho tiempo la calorimetría indirecta, quedó también restringida a este campo, mientras que en la clínica se preferían ecuaciones de predicción basadas en mediciones simples como el peso y la talla.

Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos precisos ligeros y asequibles que han ido hallando su lugar en el espacio clínico

La calorimetría indirecta tiene un innegable interés práctico en el estudio de numerosas situaciones clínicas como la obesidad, la malnutrición, traumatismos, sepsis, fracaso renal y hepático, cáncer, fracaso multiorgánico, infecciones graves como el VIH, el cálculo de requeri-

mientos energéticos de pacientes críticos y, en el campo que me ocupa, de personas con un intenso desgaste físico y atletas de diferentes modalidades deportivas.

Resumen

Parte de las técnicas de evaluación del gasto energético descritas en esta revisión, quedan relegadas, por su complejidad y coste al ámbito de la investigación. Durante mucho tiempo la calorimetría indirecta, quedó también restringida a este campo. Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de equipos precisos ligeros y asequibles que permiten que en la actualidad sea un método muy útil en el espacio clínico de la determinación del GER, en amplios grupos de población, sana, con diferentes tipos de patología y también sometida a un intenso desgaste físico como los atletas de diferentes modalidades deportivas.

Referencias

1. Esteves de Oliveira FC, de Mello Cruz AC, GonçalvesOliveira C, Rodrigues Ferreira Cruz AC, Mayumi Nakajima V, Bressan J. Gasto energético de adultos brasileños saludables: una comparación de métodos. *Nutr Hosp* 2008; 23: 554-61.
2. Ainsworth BE, Haskell WL, Leon AS, Jacobs DR Jr, Montoye HJ, Sallis JF et al. Compendium of physical activities: energy costs of human movement. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25: 71-80.
3. World Health Organization (WHO). Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: World Health Organization. 1998.
4. Levine JA. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr* 2005; 8: 1123-32.
5. Henry CJK. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutr* 2005; 8: 1133-52.
6. Aleman-Mateo H, Salazar G, Hernández-Triana M, Valencia ME. Total energy expenditure, resting metabolic rate and physical activity level in free-living rural elderly men and women from Cuba, Chile and Mexico. *Eur J Clin Nutr* 2006; 60: 1258-65.
7. Mataix J, Martínez JA. Balance de energía corporal. En: Nutrición y alimentación humana. Mataix J Ed. Oceano/Ergon.Barcelona. 2006: 703-22.
8. Mahan LK, Escott-Stump S. Dietoterapia de Krause.Edit. Elsevier Masson. 12 a. ed. Barcelona 2009: 22-37.
9. *Eur J of Clin Nutr* 2006; 60: 538-44. Food and Nutrition Board. Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids (Macronutrients). Washington: National Academy Press; 2005. (Reporte en Internet) (Consultado en Octubre 2010). Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/10490.html>
10. Stob NR, Bell C, Baak MA, Seal DR. Thermic effect of food and -adrenergic thermogenic responsiveness in habitually exercising and sedentary healthy adult humans. *J Appl Physiol* 2007; 103: 616-22.
11. Watanabe T, Nomura M, Nakayasu K, Kawano T, Ito S, Nakaya Y. Relations between thermic effect of food, insulin resistance and autonomic nervous activity. *J Med Invest*. 2006;53:153-58.
12. FAO/WHO/UNU Energy and proteins requirements. WHO Tech. Rep. Ser 724. Gèneve: World Health organization. 1985
13. Wickel EE, Eisenmann JC. Within- and betweenindividual variability in estimated energy expenditure and habitual physical activity among young adults. *Eur J of Clin Nutr*. 2006; 60:538-44.
14. Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L. Best Practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *Am J Diet Assoc*. 2006; 106:881-903.

- 15 Lawrence C, Ugrasbul F Prediction of daily energy expenditure during a feeding trial using measurements of resting energy expenditure, fat-free mass, or Harris-Benedict equations. *Am J Clin Nutr.* 2004; 80:876-80
- 16 Patiño JF Determinación del gasto energético en el paciente quirúrgico. En: *Metabolismo Nutrición y Schock*. Ed Panamericana. Bogotá. 2006:181-93
- 17 Ravussin E, Rising R Daily Energy expenditure in humans: Measurements in a respiratory chamber and by doubly labelled water. En: Kinney JM, Tucker HN eds *Energy metabolism: Tissue determinants and cellular corollaries*. NY Raven Press, 1992; 81-96
- 18 Weijjs PJM, Kruijzena HM, Dijk AE, Meij BS, Langius JAE, Knol DL, Strack RJM et al. Validation of predictive equations for resting energy expenditure in adult outpatients and inpatients. *Clin Nutr.* 2008; 27:150-57
- 19 Harris JA, Benedict FG. *A Biometric Study of the Basal Metabolism in Man*. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington; 1919. Publication No. 279
20. Melzer K, Karsegard VL, Genton L, Kossovsky MP, Kayser B, Pichard C. Comparison of equations for estimating resting metabolic rate in healthy subjects over 70 years of age. *Clin Nutr.* 2007; 26:498-505.
21. Lorenzo DA, 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. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2001; 55:208-214.
22. Ferro-Luzzi A. The conceptual framework for estimating food energy Requirement *Public Health Nutrition.* 2005; 8:940-52.
23. FAO/WHO/UNU. *Energy and protein requirements.* 1985. 220 p.
24. FAO/WHO/UNU. *Human energy requirements.* 2005. 96 p.