



UT III Sesión 2b: Calorimetría indirecta

Propósito general:

El alumno comprenderá el concepto de gasto energético, así como sus componentes y entenderá las bases teóricas de la calorimetría y su aplicación a la medición del gasto energético.

Propósitos específicos:

- El alumno explicará las diferencias entre calorimetría directa e indirecta.
- El alumno entenderá la diferencia entre gasto energético basal, en reposo y total.
- El alumno conocerá los principios de la calorimetría indirecta.
- El alumno aplicará algunas fórmulas para la estimación del gasto energético.
- El alumno aprenderá a utilizar un calorímetro y a interpretar los resultados
- El alumno discutirá como afectan diversos factores exógenos y endógenos al gasto energético

Resultados de aprendizaje:

El alumno entenderá como afectan valores como el sexo, la edad, la condición física o el estado nutricional en la variación de las tasas metabólicas y explicará porqué se producen cambios en el gasto energético ras ingerir carbohidratos, lípidos o proteínas.

Diagnóstico previo

- ¿Qué utilidad tiene la calorimetría?
- ¿Cuál es la diferencia entre calorimetría directa e indirecta?
- ¿Cuál es la importancia clínica de la calorimetría?
- ¿Cómo se mide el gasto energético de un individuo?
- ¿Cómo se modifica el gasto energético al ingerir distintos tipos de alimentos?
- ¿Tendrá el mismo gasto energético en reposo una persona obesa que una persona desnutrida?
- ¿Qué factores incrementan el gasto energético en reposo en una persona sana?
- ¿Qué hormonas pueden modificar el gasto energético?

Introducción

La energía se define como la capacidad para realizar un trabajo. La unidad estándar para medir la energía es la caloría y corresponde a la cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura de 1 g de agua en 1°C. La unidad de energía en el Sistema Internacional de



Unidades es el joule (J), que se define como el trabajo realizado por una fuerza de 1 Newton que actúa a través de una distancia de 1 metro. 1 kcal equivale a 4,186.8 J (4.18 k).

El cuerpo humano requiere energía para crecer, desarrollarse y repararse, así como para mantener funciones homeostáticas como la respiración, la circulación sanguínea y la regulación de la temperatura corporal, así como para realizar trabajo físico (caminar, correr, mover los brazos).

El término metabolismo se emplea para referirse a todas las transformaciones químicas y energéticas que ocurren en el organismo. El cuerpo utiliza la energía procedente de los carbohidratos, proteínas, grasas y el alcohol de la dieta; esta energía queda atrapada en los enlaces químicos de los alimentos y se libera al catabolizarlos.

La cantidad de energía liberada por el catabolismo del alimento se utiliza para realizar trabajo, almacenamiento energético o se disipa como calor, es decir:

Gasto energético = trabajo externo + almacenamiento de energía + calor

La calorimetría es aquella prueba que nos permite medir el calor que se genera a partir de una reacción química. Existen dos maneras en las que puede ser medida: la calorimetría directa y la calorimetría indirecta.

La calorimetría directa se considera el estándar de oro para la medición del gasto energético, la cual provee la capacidad única de cuantificar el calor producido por el metabolismo aeróbico y anaeróbico mediante la comparación del intercambio de calor entre el cuerpo y el medio ambiente, que es proporcional al gasto energético. Este tipo de mediciones requiere una infraestructura que normalmente sólo está disponible en centros de investigación.

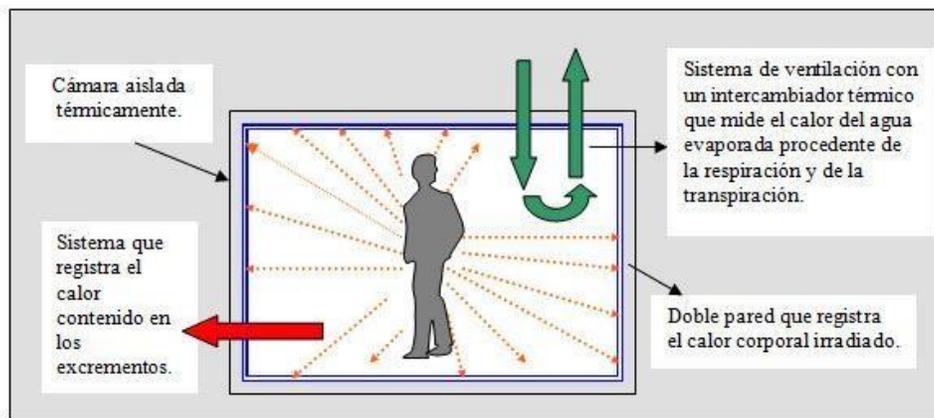


Fig 1: Calorimetría directa: Mide el intercambio entre el cuerpo y el medio ambiente

El segundo tipo de calorimetría es la indirecta, la cuál emplea los principios del intercambio de O_2 y CO_2 para definir el gasto energético. Los nutrimentos energéticos contienen en su estructura química carbono, hidrógeno y oxígeno, moléculas que pueden ser oxidadas en su totalidad en las células hasta convertirse en CO_2 y H_2O . Mediante el empleo de cámaras de



respiración de circuito cerrado (calorímetros indirectos), en donde se controla la cantidad de CO₂ eliminado por un organismo y la cantidad de oxígeno captado, se puede establecer una relación entre el volumen de CO₂ (VCO₂) producido en la respiración celular y que se elimina a través de los pulmones con el volumen de O₂ (VO₂) empleado en la oxidación de los nutrimentos y captado a través de las vías respiratorias. Para la cuantificación del gasto de energía, la calorimetría indirecta utiliza ecuaciones derivadas de diferentes fórmulas con un valor de VO₂ y CO₂ específicos. Para obtener los resultados se puede utilizar una mascarilla unida a un equipo de detección de mangueras, de donde se toma muestras del aire espirado con el sujeto en reposo. Una vez obtenidas las concentraciones de los gases, se aplica la fórmula de Weir para obtener el gasto energético:

$$\text{Gasto Energético} = (3.9 \times \text{VO}_2) + (1.11 \times \text{VCO}_2)$$



Fig 2: Calorímetros indirectos. Miden el consumo de oxígeno y la producción de CO₂ mediante sensores.

El gasto energético total de una persona se divide en tres componentes: gasto energético basal, termogénesis inducida por los alimentos y termogénesis por actividad física.

Gasto energético basal: se define como la cantidad mínima de energía consumida que es compatible con la vida. Refleja la cantidad de energía que se emplea durante 24 hrs mientras se encuentra en reposo físico y mental, en un ambiente térmicamente neutro que evite mecanismos que generen o disipen el calor como el temblor o la sudación. Corresponde a la tasa de uso de las reservas de energía del organismo.

Las mediciones se realizan a primera hora de la mañana, en ayuno de 10 a 12 horas, sin fumar ni consumir bebidas alcohólicas y antes de cualquier actividad física. En esta situación se considera que tanto la alimentación como la actividad física tienen una influencia mínima sobre el metabolismo. Representa el 60-70% del gasto energético total.

Termogénesis inducida por los alimentos: se aplica al aumento del gasto energético asociado al consumo, digestión y absorción de los alimentos. Representa aproximadamente el 10% del gasto energético total.

Gasto energético en reposo: la medición del gasto energético es complicada, ya que requiere el control de muchas variables. Esto ha llevado a medir a las personas en una condición diferente en la cual la actividad física es mínima y el consumo de alimentos se controla por un periodo mínimo de 4 horas. Representa la energía consumida en actividades necesarias



para el mantenimiento de las funciones corporales normales. Suele ser un 10% más elevado que el gasto energético basal debido mayoritariamente a la termogénesis residual de los alimentos. Por lo tanto:

Gasto energético en reposo = gasto energético basal + termogénesis inducida por los alimentos.

El gasto energético en reposo es posible ser medido mediante la calorimetría indirecta o mediante el uso de fórmulas específicas.

Termogenia por actividad: representa la energía consumida en actividades, ya sea relacionadas con el ejercicio, o bien durante el trabajo. Representa el 20-30% del gasto energético total y es su factor más variable.

Gasto energético total: representa la energía total consumida por un sujeto durante 24 horas. Por tanto:

Gasto energético total = gasto energético basal + termogénesis inducida por los alimentos + termogenia por actividad

O bien:

Gasto energético total = gasto energético en reposo + termogenia por actividad

Para la estimación del gasto energético en reposo podemos emplear la calorimetría indirecta o directa. Cuando no existe acceso a los calorímetros, se puede recurrir a diversas fórmulas que estiman la tasa metabólica según la edad, sexo, talla y peso:

Harris Benedict para estimar el GER (gasto energético en reposo):

Hombres: $\text{Peso en kg (13.75) + Talla en cm (5) + edad en años (6.8) + 66}$

Mujeres: $\text{Peso en kg (9.6) + talla en cm (1.8) + edad en años (4.7) + 655}$

Esta es la fórmula fue de las primeras en ser descrita para el cálculo del GER y es una de las más comúnmente empleadas. En comparación con la calorimetría indirecta puede subestimar o sobreestimar el GER hasta un 19%.

Mifflin-St Jeor:

Hombres: $\text{Peso en kg (10) + talla en cm (6.25) - edad en años (5) + 5}$

Mujeres: $\text{Peso en kg (10) + talla en cm (6.25) - edad en años (5) - 161}$

Su objetivo fue corregir la sobreestimación que genera la fórmula de Harris Benedict. Posee variabilidad de hasta 30% en individuos de similares características.



Material:

- Ecuaciones de Harris-Benedict y de Mifflin-St Jeor.
- Calorímetro indirecto.
- Mascarilla.
- Boquilla, filtro y pinza nasal (en caso de no utilizar la mascarilla).
- Cable sensor de CO₂.
- Mesa de exploración.
- Alimentos: 1 lata de refresco, aceite de oliva (o algún alimento predominante en lípidos)
- Spray desinfectante y sanitas.
- Ropa cómoda para realizar actividad física

Preparación del sujeto y uso del equipo:

- Se debe solicitar al sujeto de estudio que no haya consumido ningún tipo de sustancias, alimentos o bebidas por lo menos 4 horas antes.
- Se debe conectar el calorímetro, en el cual se deben enchufar dos cables en la parte trasera, uno que se conecta a la corriente eléctrica y otro que contiene el cable sensor de CO₂. El pequeño filtro redondo de este último cable se debe conectar en medio del calorímetro dándole vueltas, este filtro es parte del cable sensor de CO₂



Fig 3: El cable de la izquierda se conecta a la fuente de energía. El filtro de en medio redondo se conecta dándole vueltas y es parte del sensor de CO₂. El cable de la derecha también es parte del sensor y solo se debe enchufar.

- Se recomienda posteriormente conectar el sensor de CO₂ con la mascarilla antes de colocársela al sujeto de estudio. Las mascarillas estarán previamente armadas. También se puede emplear la boquilla en lugar de la mascarilla

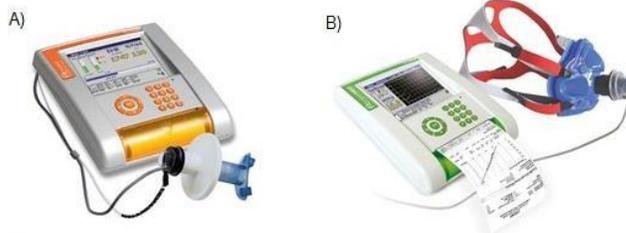


Fig 4. A y B muestran un calorímetro con boquilla y uno con mascarilla. Es importante aclarar que al usar boquilla se debe conectar a un filtro de color blanco, en tanto que al usar mascarilla solo se adhiere el sensor directamente.

- Se coloca la mascarilla o la boquilla al sujeto de estudio.



Fig 5: Del lado izquierdo se muestra la manera en que se debe ver la mascarilla una vez armada. Al centro y a la derecha se muestra como se debe conectar al sujeto de estudio. Las mascarillas ya estarán previamente armadas antes de la practica.

- Se enciende el calorímetro y se elige la opción 1 “new” para colocar los datos del sujeto de estudio. Después de introducir los datos se elegirá la opción número 3 “Resting Metabolic Rate”



Fig 6: Primero se elige la opción 1 (new) y posteriormente la opción 3 (Resting Metabolic Rate)

- Se inicia el registro en el aparato. Los primeros dos minutos sirven para la calibración del equipo. A partir del segundo minuto se inicia el registro real el cual tiene una duración de 5 minutos. De esta forma cada estudio se puede realizar en un lapso de 7 minutos.
- En la pantalla del calorímetro, se podrá apreciar, los datos que vaya arrojando el paciente en tiempo real. Entre ellos sus niveles de oxígeno, dióxido de carbono, su ritmo cardiaco, frecuencia respiratoria. También se pueden apreciar dos barras en donde se registra la profundidad y frecuencia de las respiraciones del paciente. Estos últimos dos parámetros se deben de mantener en verde, lo cual nos indica que el paciente está relajado.
- Al terminar el registro, el calorímetro muestra una gráfica en la cual se expresan las Kcal/día (eje Y) en función del tiempo (eje X).



Fig 7:A la izquierda se muestra como durante el estudio se van arrojando resultados en tiempo real. A la derecha se observa la gráfica final del estudio

- Se da fin al inicio del estudio, y se imprime la prueba.
- Entre cada registro en diferente paciente se debe limpiar la mascarilla con espray desinfectante y secar perfectamente con una servilleta desechable.

Diseño experimental:

Para los registros de los datos se utilizará una tabla como la siguiente. Considérese que para cada medición con el calorímetro se usan aproximadamente 7 minutos

Alumno	GER Harris-Benedict	GER Mifflin-St Jeor	GER calorímetro en ayuno	GER Carbohidratos	GER Grasa	GER Act. Física
A1						
A2						
A3						
An						

ACTIVIDAD 1: CÁLCULO DEL GE CON FÓRMULAS

- Cada alumno del grupo debe calcular su gasto energético en reposo **con base a las dos ecuaciones y apuntarlo en las columnas correspondientes de la tabla.**

ACTIVIDAD 2: MEDICIÓN DEL GE CON EL CALORÍMETRO

- Se elegirán 4 participantes a los cuales se les tomará un registro con el calorímetro de su gasto energético en reposo (en ayuno, con la menor cantidad de actividad previa, en reposo por los minutos previos). Se añadirá dicho valor en la columna correspondiente de la tabla
- Enseguida a dos participantes se les dará a beber media lata de coca-cola normal (aprox. 20 gr de carbohidratos) y al dos participantes 20 grs de grasa (aceite de oliva).
- 30 minutos después de ingerir el alimento se tomará un registro del gasto energético en reposo usando el calorímetro.
- Por último, los participantes realizarán 10 min. de actividad física e inmediatamente después se realizará un registro del gasto energético en actividad física usando el calorímetro.





Resultados:

- Se realizará un análisis comparando los resultados de cada alumno en cada una de las variables (en ayuno, tras la ingesta de carbohidratos, tras la ingesta de lípidos y tras la actividad física).
- También se analizará las variaciones en el GER que pudieran ocasionar el género y las diferencias en el peso entre los diferentes sujetos de estudio.
- Se compararán los resultados obtenidos mediante las fórmulas con los obtenidos mediante calorimetría indirecta.

Entregar un reporte de la practica donde se discutan los resultados y se den respuestas a las preguntas que se plantearon durante el desarrollo de la práctica.

Referencias

1. Guyton, A. C. y Hall, J. E. **Tratado de Fisiología Médica**. 13a Ed. Barcelona, España. Editorial Elsevier Saunders, 2016.
2. Eduardo E, et al. (2006). **Indirect calorimetry: methodology, instruments and clinical application. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, 2006, 9:247–2
3. Ascencio C. **Elementos fundamentales en el cálculo de dietas**. México: Manual Moderno; 2011.
4. Mahan K, Escott-Stump S y Raymond J. Krause, **Dietoterapia**. 13ª ed. EEUU: Elsevier, 2013.

Participaron en la elaboración y revisión de esta guía:

- *M.C. Alejandro Miguel Martínez*
- *M.C. Jorge Luis Diaz*
- *MPSS. Alvarado Romero Josué*
- *MPSS. Zamora Sánchez Daniel*
- *MPSS. Bravo Hurtado Samuel*
- *Dr. Héctor González Sánchez*
- *Dr. Vito Hernández*