

20

FUNDAMENTOS Y APLICACIÓN DE LA CALORIMETRÍA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA DEL NUTRIÓLOGO

FUNDAMENTALS AND APPLICATION OF CALORIMETRY IN THE CLINICAL PRACTICE OF THE NUTRITIONIST

Patricia Flores López¹

E-mail: pflores@pampano.unacar.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9099-471X>

Margarita Zúñiga Juárez¹

E-mail: mzuniga@pampano.unacar.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3369-2985>

Dariola Astrid Castillo Trejo¹

E-mail: dcastillo@pampano.unacar.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6771-0168>

Graciela Villar Genesta¹

E-mail: gvillar@pampano.unacar.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6849-6466>

¹Universidad Autónoma del Carmen. México.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Flores López, P., Zúñiga Juárez, M., Castillo Trejo, D. A., & Villar Genesta, G. (2022). Fundamentos y aplicación de la calorimetría en la práctica clínica del nutriólogo. *Revista Conrado*, 18(85), 167-172.

RESUMEN

En el ejercicio de la nutrición, es imprescindible determinar el gasto energético, para la estimación correcta de los requerimientos energéticos; en el campo clínico, la técnica más utilizada es la calorimetría indirecta, que es un método exacto y preciso, pero relativamente caro, que requiere personal entrenado y unas rigurosas condiciones de realización. El objetivo de este estudio fue describir el estado actual de conocimiento de la calorimetría e incentivar la aplicación de este método para el tratamiento de los pacientes, es un estudio documental descriptivo, empleando como muestra los documentos científicos en los que se aborda la descripción de la calorimetría. Se utilizó el buscador Google Académico, para compilar información, se utilizó el enunciado clave "Calorimetría". El término "Calorimetría" generó 8.595 resultados, el 5.05% cumplieron criterios de inclusión. La aplicación de la calorimetría mejora el tratamiento, evolución y pronóstico de los pacientes hospitalizados, se debería de implementar en mayor medida en los hospitales de tercer nivel en el país.

Palabras clave:

Calorimetría, metabolismo energético, formación, nutriólogos.

ABSTRACT

In the exercise of nutrition, it is essential to determine energy expenditure, for the correct estimation of energy requirements; In the clinical field, the most widely used technique is indirect calorimetry, which is an accurate and precise method, but relatively expensive, requiring trained personnel and rigorous performance conditions. The objective of this study was to describe the current state of knowledge of calorimetry and encourage the application of this method for the treatment of patients, it is a descriptive documentary study, using as a sample the scientific documents in which the description of the calorimetry. The Google Scholar search engine was used, to compile information, the key statement "Calorimetry" was used. The term "Calorimetry" generated 8,595 results, 5.05% met the inclusion criteria. The application of calorimetry improves the treatment, evolution and prognosis of hospitalized patients, it should be implemented to a greater extent in tertiary hospitals in the country.

Keywords:

Calorimetry, energy metabolism, training, nutritionists.

INTRODUCCIÓN

La calorimetría, es la parte de la física encargada de la medición del calor en una reacción química o un cambio de estado, usando un instrumento llamado calorímetro. El nombre del calorímetro se debe a Antoine Lavoisier que, en 1780, utilizó un conejillo de indias con este dispositivo, para medir la producción de calor (Kenny, et al., 2017; y De Waele, et al., 2018). El calor de la respiración del conejillo de indias, fundía la nieve que rodeaba el calorímetro, mostrando que el intercambio de gas respiratorio es una combustión, similar a una vela encendida (Mtaweh, et al., 2018; y Arroyo, 2020).

En nutrición, la calorimetría se utiliza para determinar el gasto energético total diario (GET), que representa la cantidad de energía (kcal/día), que necesita un determinado ser humano para desarrollar su actividad normal (Delsoglio, et al., 2019). Este concepto engloba el gasto energético basal (GEB), o gasto para el mantenimiento de las funciones vitales, el coste energético de la termogénesis, la actividad física y el crecimiento (Muñoz, et al., 2018). La actividad física es el componente más variable del GET y el único sujeto a control voluntario, representa entre el 10-50% del GET según el tipo, tiempo e intensidad de la actividad (Hernández-Ortega *et al.*, 2019). Habitualmente se estima a partir de tablas, calculando un factor dependiendo de la actividad diaria total aproximada o hallando la media de los distintos coeficientes para cada una de las actividades realizadas a lo largo del día (Mtaweh, et al., 2018; y Arroyo, 2020).

A nivel práctico, se puede determinar el gasto energético basal de un individuo con mayor precisión que su ingesta energética (Nates & Tajchman, 2016). En clínica, la técnica más utilizada es la calorimetría indirecta, que es un método exacto y preciso, pero relativamente caro, que requiere personal entrenado y unas rigurosas condiciones de realización (Resendez, et al., 2020).

La posibilidad de cuantificar el GEB aporta una información fundamental, tanto en clínica como en epidemiología nutricional, ya que es el pilar básico para la estimación correcta de los requerimientos energéticos. De la misma forma, conocer el GEB es de gran utilidad para comparar el metabolismo energético entre individuos (Kenny, et al., 2017; y Muñoz, et al., 2018).

Con lo anterior, queda clara la necesidad de una revisión bibliográfica, que permita describir de una forma simplificada, los conceptos principales, sus características y su aplicación en el campo de la nutrición clínica

METODOLOGÍA

El estudio documental descriptivo. La muestra se constituyó por los documentos científicos en los que se aborda el tópico de la calorimetría. Se empleó el buscador Google Académico para la compilación de la información. Se utilizó el enunciado clave "Calorimetría" Se incluyeron los trabajos que cumplieran las siguientes condiciones:

- Investigaciones con enfoques cuantitativos, cualitativos o mixtos.
- Artículos publicados a partir de 2015.
- Artículos publicados en español o inglés.
- Ensayos, casos clínicos, artículos de revisión, actualizaciones y tesis de maestría o doctorado.
- Todos los documentos, deberán de procedentes de bibliotecas universitarias y de revistas indexadas y arbitradas.

Los trabajos excluidos fueron los que no cumplieron con los criterios antes descritos o que el contenido temático estaba duplicado en otro documento considerado previamente. La calidad metodológica y científica de los artículos, se determinó por el criterio de ser publicados en revistas arbitradas e indexadas, dada la rigurosidad científica a la que se apegan y las revisiones de los expertos a las que se sujetan (Torres, et al., 2018).

DESARROLLO

Al colocar en el buscador Google académico el enunciado "calorimetría", se generaron 8.595 resultados en 0,4 segundos, de los cuales el 5.05 % de los resultados tienen relación con la temática buscada y cumplen con los criterios de inclusión para este trabajo.

Google Académico es un buscador que permite localizar documentos de carácter académico como artículos, tesis, libros, patentes, documentos relativos a congresos y resúmenes. Se alimenta de información procedente de diversas fuentes: editoriales universitarias, asociaciones profesionales, repositorios de preprints, universidades y otras organizaciones académicas, siendo actualmente uno de los motores de búsqueda de mayor utilización entre los estudiantes de educación superior (Torres, et al., 2018).

El organismo humano es un sistema termodinámico que necesita energía para mantener sus funciones y la actividad física habitual. Del equilibrio entre la energía ingerida (alimentación) y la gastada (mantenimiento de la vida, actividad, entre otros), depende la estabilidad de las reservas corporales y, en consecuencia, el mantenimiento del

peso. Conseguir el equilibrio energético es el principal objetivo de las actuales políticas de salud para la población de los países occidentales (De Waele, et al., 2018). Uno de los “brazos” de la balanza energética es el gasto energético total (GET), constituido en adultos por el gasto energético basal (que es el componente mayoritario), la termogénesis y la actividad física. Una correcta determinación del gasto energético basal es fundamental para una adecuada estimación del GET (Muñoz, et al., 2018). Sin embargo, las técnicas de referencia empleadas en su valoración no resultan viables en la práctica clínica diaria.

Por esta razón suelen aplicarse modelos predictivos, que son métodos rápidos, baratos y sencillos, aunque su fiabilidad depende fundamentalmente de la adecuada elección de la fórmula a aplicar en la población de estudio (Hernández-Ortega, et al., 2019). Los componentes del GE (Gasto energético), es decir el metabolismo basal y el gasto que requiere cualquier AF (Actividad física), se pueden determinar por calorimetría, la cual puede ser directa o indirecta (Nates & Tajchman, 2016; y Mtaweh, et al., 2018).

La calorimetría directa es la medida de la producción de calor corporal y es el método más preciso para medir el gasto calórico (Kenny, et al., 2017). Se fundamenta en el proceso descrito por la termodinámica y se encarga de medir la cantidad de calor liberada por el cuerpo dentro de un calorímetro (Muñoz, et al., 2018). Una persona es introducida dentro de una cámara aislada para tener condiciones controladas de temperatura. El calor generado por el paciente, es conducido por el aire alrededor y es transferido de manera forzada a pasar por agua que rodea la cámara. Utilizando la medición de calorías y sabiendo la temperatura inicial del agua, se puede obtener el número de calorías generadas por el individuo al interior del calorímetro (Hernández *et al.*, 2019). El costo, la complejidad y el tiempo que requiere este método no permiten su aplicación en forma rutinaria y queda circunscrita sólo al ámbito de la investigación y su utilización en un reducido número de lugares en el mundo (Delsoglio, et al., 2019).

La calorimetría indirecta se basa en la teoría de que la energía química que se obtiene de la oxidación de un sustrato, es proporcional al consumo de oxígeno (VO₂) y a la liberación de dióxido de carbono (VCO₂) (Kenny, et al., 2017). Conviene recordar que el VCO₂, el nitrógeno ureico, el agua y la energía son producto de la oxidación de los macronutrientes (sustratos energéticos), sin embargo, es absolutamente necesario un determinado volumen de oxígeno (VO₂). En consecuencia, con la técnica de calorimetría indirecta, no se mide directamente el gasto, sino que se calcula a partir de la determinación de los

parámetros del intercambio gaseoso (VO₂ y VCO₂), teniendo también en cuenta los productos derivados de la oxidación de las proteínas (nitrógeno ureico) (De Waele, et al., 2018).

Aunque este sería el procedimiento adecuado, como la energía derivada de la oxidación de las proteínas es muy pequeña, la inclusión del nitrógeno ureico no mejora sustancialmente los cálculos, por lo que este parámetro se puede obviar. La técnica asume que todo el O₂ se emplea para oxidar los sustratos degradables y que todo el CO₂ producido se recupera (Hernández, et al., 2019).

En realidad, hay suficientes razones para considerar que el metabolismo energético está relacionado con el VO₂. Partimos de la base de que todos los procesos químicos requieren energía que proviene del hidrólisis de ATP. La tasa de utilización de ATP es la principal determinante de la oxidación de sustratos y, por tanto, del VO₂. En todos los procesos metabólicos, menos en aquellos que se producen en anaerobiosis (glucólisis anaerobio), la síntesis de ATP se acopla con la oxidación de sustratos energéticos. En ellos, cada mol de ATP generado se acompaña de la misma cantidad de calor (75 kJ/mol ATP) (Almajwal & Abulmeaty, 2019). Siguiendo este razonamiento, dada la relación existente entre VO₂ y síntesis de ATP, parece correcto utilizar la determinación del VO₂ para calcular la cantidad de calor producido.

Además, sabemos que las reservas de O₂ del organismo son escasas en relación con la tasa de VO₂ y que el consumo de O₂ medido en boca refleja directamente el utilizado por los tejidos. La primera ley de la termodinámica aplicada al cuerpo humano, permite afirmar que la energía liberada en el proceso oxidativo se transforma en calor y trabajo externo durante el ejercicio (Nates & Tajchman, 2016; y Mtaweh, et al., 2018).

Para cada uno de los macronutrientes, hay una serie de valores relativamente constantes relacionados con el metabolismo oxidativo:

- La energía metabolizable o cantidad de kilocalorías que se producen por la combustión de 1 gramo de un determinado nutriente.
- El equivalente calórico del O₂ y del CO₂ o cantidad de kilocalorías que se producen por la combustión de un determinado nutriente con el consiguiente consumo o producción de 1 litro de O₂ o CO₂, respectivamente.
- El cociente respiratorio (CR = VCO₂/VO₂), o relación entre la cantidad de CO₂ producido (VCO₂) y oxígeno consumido (VO₂).

Es fácil deducir que, si sólo se oxidara un único tipo de macronutriente, midiendo el oxígeno consumido durante

un periodo de tiempo determinado y multiplicándolo por su equivalente calórico, se podría calcular el gasto energético correspondiente a ese periodo (Delsoglio, et al., 2019). Los parámetros a considerar en los estudios de calorimetría, se observan en la tabla 1.

Tabla 1. Calorimetría indirecta, parámetros a considerar.

	Consumo O2 (ml/g)	Producción CO2 (ml/g)	CR	Energía metabolizable (kcal/g)	O2 consumido (kcal/L)	CO2 producido (kcal/L)
Almidón	829	829	1.000	4.18	5.047	5.05
Glucosa	746	742	0.995	3.68	4.930	4.96
Lípidos	2.019	1.427	0.707	9.46	4.930	6.63
Proteínas	966	774	0.806	4.31	4.467	5.57
Alcohol	1.429	966	0.663	7.10	4.970	7.35

La Calorimetría en circuito abierto precisa la medición exacta del volumen y flujo respiratorios y de las fracciones inspiradas y espiradas de O2 y CO2. Los calorímetros de circuito abierto miden concentraciones de O2 y CO2 en aire espirado y flujo de aire espirado, además registran temperatura ambiente, presión atmosférica, humedad y tiempo (Becerril, et al., 2015). El sistema puede adaptarse a situaciones de ventilación mecánica y a respiración espontánea (Hernández-Ortega, et al., 2019). En la tabla 2, se observa las condiciones para la realización de calorimetría indirecta.

Tabla 2. Condiciones para la realización de calorimetría indirecta en circuito abierto con respiración espontánea.

<p>Condiciones para la determinación del GER por calorimetría indirecta:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reposo físico: en posición supina, sin movimientos musculares 30-60 minutos antes de la exploración. 2. Sin estar dormido. 3. Reposo mental: sin estar sometido a emociones o estrés psíquico. 4. Temperatura ambiente de 20-25°C. 5. Ayuno de 6-12 horas antes de la determinación. No se deben haber consumido estimulantes o fármacos que alteren el metabolismo basal.
--

Las técnicas habituales de recogida de gases se realizan a través de boquillas, mascarillas o caperuzas, las 2 primeras no son confortables y pueden provocar hiperventilación, con el sistema de caperuza se minimiza este problema y en los enfermos sometidos a ventilación mecánica, aunque en estos, el gasto energético es más difícil de medir (De Waele, et al., 2018).

La persona se conecta a una boquilla, mascara, caperuza o a un tubo endotraqueal, el aparato mide el oxígeno inspirado mediante la determinación de la cantidad del mismo que hay que añadir a un circuito cerrado respiratorio para reponer el oxígeno consumido por el sujeto. Se establece una conexión hermética (Arroyo, 2020).

El cociente respiratorio (CR) se calcula dividiendo el VCO2 producido entre el VO2 consumido, el CR es igual a 1 cuando se oxidan sólo hidratos de carbono, toma el valor de 0,707 si sólo se oxidan lípidos y se sitúa entre ambos en el caso de las proteínas. En la práctica, es fácil suponer que cuanto más próximo a 1 sea el CR, mayor será la cantidad de hidratos de carbono oxidados; mientras que, la cantidad de grasas oxidadas será mayor cuando el CR se acerque a 0,7 (Delsoglio, et al., 2019). El CR ayuda a valorar si la pauta nutricional es adecuada y el efecto respiratorio de la misma. No es preciso insistir en que, todos aquellos procesos que alteren el patrón respiratorio invalidan o inducen importantes errores en la determinación del GER por calorimetría indirecta.

En consecuencia, esta técnica permite realizar una aproximación a la oxidación de substratos de una forma relativamente sencilla. Conociendo el consumo de O2, la producción de CO2 y la excreción de nitrógeno ureico, se puede estimar la cantidad de carbohidratos (glucosa), proteínas y lípidos oxidados en el metabolismo a partir de la medición de las reacciones de oxidación para cada uno de los principios inmediatos (Ramírez, et al., 2020).

Además, se puede calcular la proteína oxidada a través de la eliminación de nitrógeno ureico, mediante la relación: proteínas (g) = 6,25 x No (Becerril-Sánchez, et al., 2015). Para minimizar los errores en la estimación, es muy importante

que la recogida de orina de 24 horas sea lo más correcta posible. Si no es así, la determinación del nitrógeno ureico, no reflejará la realidad de la utilización metabólica de las proteínas. En los casos de insuficiencia renal, es muy importante considerar los cambios en el pool de nitrógeno ureico. En un sentido más amplio, en la práctica la determinación del CR y de la oxidación de substratos facilita el seguimiento y la valoración de la prescripción dietética nutricional (Almajwal & Abulmeaty, 2019).

El método de calorimetría indirecta no presenta la exactitud necesaria porque la constante de consumo de oxígeno cambia de acuerdo con el organismo tomando en cuenta variables de género, edad, masa corporal, entre otros; además, es un procedimiento incómodo tanto para el paciente como para los miembros del equipo médico (Kenny, et al., 2017; y Ramírez, et al., 2020). En algunos pacientes la calorimetría indirecta no se puede realizar debido a su patología o a dificultades técnicas con el equipo. Por otra parte, el método de Calorimetría Directa, utilizando la cámara de medición, es altamente costoso, sólo permite la atención de una persona por cámara, lo que implica una baja eficiencia en la prestación de servicio en los pacientes que necesiten de este tipo de cuidado (Becerril, et al., 2015).

CONCLUSIONES

El estudio de la calorimetría ha ido evolucionando con el tiempo. La aplicación actual de esta técnica, permite el mejor tratamiento de los pacientes hospitalizados ya que ofrece una tasa de gasto energético más preciso que el obtenido mediante técnicas predictivas, lo cual es altamente eficaz al momento de tratar a pacientes en estado crítico con patologías específicas, sin embargo, en México es una técnica que apenas va empezando a desarrollarse, debido al poco conocimiento que se tiene sobre su aplicación, los costos de los equipos necesarios para su aplicación y la capacitación que se requiere para su correspondiente aplicación, ya que en la mayoría de los hospitales públicos no se cuenta con un presupuesto que permita su aplicación para los pacientes en general.

Es necesario abordar la compleja interacción entre la medición del gasto energético en los pacientes mediante el uso de un calorímetro y su incidencia en el óptimo tratamiento y recuperación de los pacientes hospitalizados.

Al no existir estudios en México, relacionados al tema de interés de este trabajo, se sugiere generar propuestas de estudios, para determinar la eficiencia de la aplicación de la calorimetría en pacientes hospitalizados, sugiriendo la utilización de equipos clínicos especializados en la determinación del gasto energético total, para posteriormente

proponer la actualización de la NOM-178-SSA1-1998, que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento, de establecimientos para la atención médica de pacientes ambulatorios, y no solo depender del uso de técnicas y formulas predictivas para determinar el gasto energético de los pacientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almajwal, A. M., & Abulmeaty, M. (2019). New predictive equations for resting energy expenditure in normal to overweight and obese population. *International Journal of Endocrinology*, 2019.
- Arroyo Sánchez, A. S. (2020). Calorimetría indirecta en cuidado crítico: Una revisión narrativa. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*, 3(2), 45-56.
- Becerril Sánchez, M., Flores-Reyes, M., Ramos-Ibáñez, N., & Ortiz-Hernández, L. (2015). Ecuaciones de predicción del gasto de energía en reposo en escolares de la Ciudad de México. *Acta pediátrica de México*, 36(3), 147-157.
- De Waele, E., Honoré, P. M., & Malbrain, M. L. (2018). Does the use of indirect calorimetry change outcome in the ICU? Yes it does. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 21(2), 126-129.
- Delsoglio, M., Achamrah, N., Berger, M. M., & Pichard, C. (2019). Indirect calorimetry in clinical practice. *Journal of Clinical Medicine*, 8(9), 1387.
- Hernández-Ortega, A., Osuna-Padilla, I., Rendón-Rodríguez, R., Narváez-Velázquez, P., Chávez-González, M., & Estrada-Velasco, B. (2019). Exactitud de las ecuaciones predictivas del gasto energético basal: estudio transversal en niños y adolescentes con sobrepeso y obesidad de Morelos, México. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 23(2), 83-91.
- Kenny, G. P., Notley, S. R., & Gagnon, D. (2017). Direct calorimetry: A brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1765-1785.
- Mtaweh, H., Taira, L., Floh, A. A., & Parshuram, C. S. (2018). Indirect calorimetry: History, technology, and application. *Frontiers in Pediatrics*, 6.
- Muñoz, E., Cordero, M., Castro, M., & Derado, M., (2018). Medición del gasto energético de reposo en pacientes oncológicos pediátricos: concordancia entre calorimetría indirecta y ecuaciones predictivas. *Nutrición Hospitalaria*, 35(3), 538-542.
- Nates, J. L., & Tajchman, S. K. (2016). *Indirect calorimetry in the ICU*. Oxford Medicine Online.

- Ramírez Resendez, B., Balderas Dibildox, D., Sánchez Peña, M. A., Márquez Zamora, L., Ramírez López, E., López Cabanillas Lomelí, M., & Solís Pérez, E. (2020). Comparación de 3 Ecuaciones para estimar el Gasto Energético en Reposo Vs Calorimetría Indirecta en Escolares con Obesidad. *RESPYN Revista Salud Pública Y Nutrición*, *19*(2), 1–8. indirecta en escolares con obesidad. *Revista Salud Pública y Nutrición*, *19*(2), 1-8.
- Torres Zapata, A., Zapata Geronimo, D., Rivera Domínguez, J., & Acuña Lara, J. (2018). El obeso de peso normal. *RESPYN Revista de Salud Pública y Nutrición*, *17*(2), 24-31.