



Calorimetría indirecta versus cálculo de requerimiento calórico por medición de MVCO₂ dado por ventilador mecánico

Indirect calorimetry versus calculation of caloric requirement by measurement of MVCO₂ given by mechanical ventilator

Calorimetria indireta versus cálculo da necessidade calórica por meio da medição da MVCO2 fornecida pelo ventilador mecânico

Gerardo Rafael Chávez Dulce,* Dulce María Dector Lira,* Diana Enríquez Santos,* Nancy Alva Arroyo,† Eduardo Mercado Cruz*

RESUMEN

Introducción: la monitorización del paciente crítico necesita un seguimiento óptimo del requerimiento energético para determinar el aporte nutricional ideal según la condición clínica, apoyar una pronta mejoría y reducir complicaciones. El requerimiento calórico depende de las características individuales de cada paciente como la patología, sedación, entre otras. A través del tiempo, se han desarrollado varias técnicas para determinar este requerimiento, como el calculado a partir del MVCO₂, parámetro arrojado por el ventilador mecánico, hasta el uso de calorimetría indirecta de manera continua, siendo esta última el estándar de oro para tal fin.

Objetivo: comparar la medición del requerimiento energético basal obtenido por calorimetría indirecta en pacientes con soporte ventilatorio invasivo y el requerimiento energético calculado a partir de MVCO₂ medido con ventilador Drager en pacientes con soporte ventilatorio invasivo.

Material y métodos: estudio prospectivo transversal desarrollado en la Unidad de Terapia Intensiva del Centro Médico Dalinde. Incluyó a pacientes con soporte ventilatorio avanzado de la vía aérea que contaron con el Software de calorimetría indirecta y apoyo de ventilación dado por ventilador Drager con medición de MVCO₂, con el cual se realizó el cálculo de requerimiento calórico.

Resultados: el requerimiento energético dado por MVCO₂ fue 141.35 ± 32 y por calorimetría indirecta fue 141.67 ± 26.5. Se realizó un análisis de diferencia de medias para ambos métodos y se encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas (p = 0.907 y p = 0.091, respectivamente).

Conclusión: existe una relación entre los datos del cálculo del requerimiento energético por calorimetría indirecta y el estimado a partir de la producción de MVCO₂ por el ventilador Drager. Por lo tanto, el cálculo del requerimiento energético por medición de MVCO₂ dado por ventilador mecánico es una alternativa adecuada en el paciente crítico hospitalizado en unidades que no cuenten con calorimetría indirecta.

Palabras clave: calorimetría indirecta, requerimiento energético, producción de dióxido de carbono, consumo de oxígeno, terapia nutricional.

ABSTRACT

Introduction: monitoring critically ill patients requires optimal monitoring of energy requirements to determine the ideal nutritional intake according to the clinical condition, support early improvement, and reduce complications. Caloric requirements depend on the individual characteristics of each patient, such as pathology, and sedation, among others. Over time, several techniques have been developed to determine this requirement, such as the one calculated from MVCO₂, a parameter provided by the mechanical ventilator, to continuous indirect calorimetry, the latter being the gold standard for this purpose.

Objective: to compare the measurement of basal energy requirement obtained by indirect calorimetry in patients with invasive ventilatory support and the energy requirement calculated from MVCO₂ measured with a Drager ventilator in patients with invasive ventilatory support.

Material and methods: a prospective cross-sectional study was developed in the Intensive Care Unit of the Dalinde Medical Center. It included patients with advanced airway support who had indirect calorimetry software and ventilation support provided by a Drager ventilator with MVCO₂ measurement, with which the caloric requirement calculation was performed.

Results: the energy requirement calculated by MVCO₂ was 141.35 ± 32, and given by indirect calorimetry was 141.67 ± 26.5. A difference of means analysis was performed for both methods and did not find statistically significant differences (p-value of 0.907 and p-value of 0.091).

Conclusion: there is a percentage relationship between the data from energy requirement calculated by indirect calorimetry and calculated from the production of MVCO₂ by the Drager ventilator. Therefore, calculating the caloric requirement by measuring MVCO₂ given by a mechanical ventilator is an adequate alternative for critically ill patients hospitalized in units that do not have indirect calorimetry.

Keywords: indirect calorimetry, energy requirement, carbon dioxide production, oxygen consumption, nutritional therapy.

RESUMO

Introdução: o monitoramento do paciente em estado crítico requer o monitoramento ideal das necessidades energéticas para determinar a ingestão nutricional ideal de acordo com a condição clínica, apoiar a melhora precoce e reduzir as complicações. A necessidade calórica depende das características individuais de cada paciente, como patologia, sedação, entre outras. Ao longo do tempo, várias técnicas foram desenvolvidas para determinar esse requisito, como a calculada a partir da MVCO₂, um parâmetro fornecido pelo ventilador mecânico, até o uso da calorimetria indireta contínua, sendo esta última o padrão ouro para essa finalidade.

Objetivo: comparar a medição da necessidade de energia basal obtida por calorimetria indireta em pacientes com suporte ventilatório invasivo e a necessidade de energia calculada a partir da MVCO₂ medida pelo ventilador Drager em pacientes com suporte ventilatório invasivo.

Materiais e métodos: estudo prospectivo de corte transversal realizado na Unidade de Terapia Intensiva do Centro Médico Dalinde. Incluiu pacientes com suporte ventilatório avançado das vias aéreas que tinham o software de calorimetria indireta e suporte ventilatório fornecido pelo ventilador Drager com medição de MVCO₂, com o qual foi realizado o cálculo da necessidade calórica.

Resultados: a necessidade energética fornecida pela MVCO₂ foi de 141.35 (DP 32) e pela calorimetria indireta foi de 141.67 (DP 26.5). Foi realizada uma análise de diferença média para ambos os métodos e constatou-se que não houve diferenças estatisticamente significativas (p-valor 0.907 e p-valor 0.091, respectivamente).

Conclusão: existe uma relação entre os dados do cálculo da necessidade de energética por calorimetria indireta e os dados calculados a partir da produção de MVCO₂ pelo ventilador Drager. Portanto, o cálculo da necessidade energética por meio da medição da MVCO₂ fornecida pelo ventilador mecânico é uma alternativa adequada para o paciente em estado crítico hospitalizado em unidades que não possuem calorimetria indireta.

Palavras-chave: calorimetria indireta, necessidade energética, produção de dióxido de carbono, consumo de oxigênio, terapia nutricional.

Abreviaturas:

ATP = adenosín trifosfato

CI = calorimetría indirecta

IMC = índice de masa corporal

MVCO₂ = producción de dióxido de carbono

* Residente de Medicina del Enfermo Adulto en Estado Crítico. Facultad Mexicana de Medicina Universidad La Salle. Centro Médico Dalinde.

† Hospital Ángeles Mocel.

Recibido: 28/08/2024. Aceptado: 20/12/2024.

Citar como: Chávez DGR, Dector LDM, Enríquez SD, Alva AN, Mercado CE. Calorimetría indirecta versus cálculo de requerimiento calórico por medición de MVCO₂ dado por ventilador mecánico. Med Crit. 2024;38(6):478-485. <https://dx.doi.org/10.35366/119236>

MVO₂ = consumo de oxígeno
 OPS = Organización Panamericana de La Salud
 PEEP = presión positiva al final de espiración (por sus siglas en inglés: *Positive End-Expiratory Pressure*)
 RE = requerimiento calórico/energético
 RQ = cociente respiratorio
 TAC = tomografía axial computarizada
 UTI = Unidad de Terapia Intensiva

INTRODUCCIÓN

La monitorización del paciente crítico, aparte de lo convencional, también requiere de un seguimiento óptimo del requerimiento energético, para poder determinar así el aporte nutricional ideal según la condición clínica, en pro de una pronta mejoría que reduzca la aparición de complicaciones.¹ Depende de las características de cada paciente, entendiéndose edad, sexo, talla, entre otros factores que influyen, como el tipo de sedación y patología que lo llevó a la unidad de terapia intensiva.

De esta manera y a través del tiempo, se han desarrollado varias técnicas y ecuaciones para determinar el gasto energético preciso, pero todos tienen sus limitaciones.² Como en un principio la ecuación de Harris Benedict que, aunque fácil en su uso y universalmente disponible, ha demostrado ser imprecisa en un sinnúmero de cuadros clínicos y depende de los valores de medición directa de sus variables para su aplicabilidad. La regla del dedo entendida como cálculo de 20 a 30 kcal/kg (guías ESPEN), aunque no validada, se utiliza en muchas unidades de terapia intensiva. Otras alternativas incluyen desde la medición de requerimiento energético calculado a partir del MVCO₂, parámetro arrojado por el ventilador mecánico; hasta el uso de calorimetría indirecta de manera continua.³

Entre éstas, las dos últimas estrategias han demostrado la mayor y mejor aproximación a cumplir la meta, cada una dependiente de disponibilidad, tecnología propia de cada centro, costes tanto en consumo como mano de obra. Estas ventajas y desventajas deben ser tomadas en cuenta por quien decidirá el uso de una u otra alternativa.⁴

El propósito final es guiar hacia una adecuada valoración nutricional, como pilar fundamental para establecer el cálculo de requerimiento calórico personalizado y un plan de soporte alimenticio, sin subalimentar ni sobrealimentar al paciente.^{1,2}

La dimensión de sus resultados y el impacto en la utilización tanto de recursos hospitalarios como el enfrentar herramientas de medición frente a otras no ha sido estimado hasta el momento. Con este estudio se pretende dar una base para realizar nuevas líneas de investigación y variables para este propósito.

En este camino, es importante estandarizar los procesos de ingreso a las unidades de Terapia Intensiva

(UTI) y las prácticas establecidas por consenso con intervenciones de calidad que pueden potenciar contextos específicos, más aún, bien sabemos, las UTI son servicios finitos de alto costo que requieren políticas para garantizar el uso racional y poder brindar atención de calidad a los pacientes,⁵ por lo cual no es nuevo el decir, «saber hacer y cómo hacer»; y es aquí, donde la medicina basada en evidencia (MBE) se propone como una herramienta fundamental para mejorar la práctica en el cuidado intensivo y, con su ejecución, poder impactar en desenlaces fuertes a corto y largo plazo.⁶

Por lo tanto, el manejo de un paciente en estado crítico es global y, su asociación frecuente con un estado hipermetabólico, da muchos parámetros de cómo ejecutar un adecuado comienzo; que bien se sabe, está relacionado con la activación de hormonas catabólicas y que da como resultado un requerimiento energético (RE) elevado, en comparación con sujetos sanos,² que puede atenuarse con uso de sedantes, betabloqueadores y analgésicos, lo que puede llevar a un apoyo inadecuado de RE y correr el riesgo de desarrollar debilidad adquirida en la UTI,⁷ lo que notoriamente agravaría el resultado y podría persistir incluso años después de la hospitalización (*Tabla 1*).

Se puede notar, entonces, que una adecuada valoración nutricional inicial es el pilar fundamental para establecer un cálculo de RE personalizado y un plan de soporte alimenticio, que tergiversar estas problemáticas, ya sea al recurrir por vía enteral o parenteral. A partir de este resultado se inicia una cadena de eventos para establecer cuánta energía en forma de alimento requiere un paciente para el mantenimiento de sus funciones orgánicas mientras enfrenta una patología determinada.⁸

Como se mencionó antes, se puede establecer el requerimiento calórico de varias maneras, ya sea por la medición sobre el paciente (calorimetría indirecta), como la medición de requerimiento energético calculado a partir del MVCO₂, parámetro arrojado por el ventilador mecánico, una alternativa favorable cuando no se cuenta con el calorímetro.⁹

Tabla 1: Factores que limitan la fiabilidad y viabilidad de la medición de calorimetría indirecta.

Agitación, fiebre, sedantes y ajustes vasoactivos durante la medición Fugas de aire en circuito respiratorio Diálisis o terapia de reemplazo renal continua ECMO Ventilación mecánica con PEEP > 10 Ventilación mecánica con FiO ₂ > 80% Ventilación no invasiva Otros gases que no sean O ₂ , CO ₂ y N ₂ ; helio Oxígeno suplementario en pacientes con respiración espontánea
--

ECMO = oxigenación por membrana extracorpórea (*ExtraCorporeal Membrane Oxygenation*). FiO₂ = fracción inspirada de oxígeno. PEEP = presión positiva al final de la espiración (*Positive End-Expiratory Pressure*).

Adaptada de: Delsoglio M et al²

El propósito de este estudio es comparar estas medidas para determinar la correlación de sus resultados y establecer el método que podría ser el más apropiado en pacientes de la UTI, validando costes, factibilidad de uso y precisión.

Nutrición en cuidados intensivos

El mal estado nutricional del paciente al ingreso en la UTI se asocia con gran variedad de complicaciones y secuelas en las áreas críticas,⁹ por lo que se entiende a la nutrición como un pilar básico tanto en el mantenimiento como fortalecimiento de la condición del paciente, manifestando el cálculo de los requerimientos calóricos como un reto en el paciente crítico, al igual que el seguimiento con prealbúmina y transferrina.¹⁰

Sí bien es cierto que existen muchos temas sin resolver sobre la vía y manera de administración de la nutrición, el principal objetivo sigue siendo mantener la condición inicial para disminuir la pérdida de masa magra muscular y mantener las funciones homeostáticas del organismo dependientes de energía,¹¹ además de tener una estrategia nutricional que cumpla los objetivos terapéuticos nutricionales en los pacientes críticamente enfermos.¹²

El Grupo de Trabajo de Metabolismo y Nutrición de la Sociedad Española de Medicina Intensiva Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC) ha revisado y actualizado las recomendaciones del tratamiento nutrometabólico en el paciente crítico, con la finalidad de ayudar a la toma de decisiones en la práctica clínica diaria,¹³ entendiendo el abordaje nutricional como un proceso dinámico según los requerimientos y necesidades de cada paciente, bien sea con apoyo parenteral o enteral.¹⁴

La administración de nutrición por vía parenteral en pacientes críticos está indicada en casos de insuficiencia intestinal que impiden la administración de nutrición enteral o, en situaciones que condicionan un aporte insuficiente,¹⁵ sin olvidar que el reposo intestinal afecta su estructura y función de la mucosa, por lo que se sugiere buscar un paso rápido a esta vía según la condición anatómica y funcional lo permitan.¹⁶ Sin embargo, ensayos aleatorios realizados en pacientes críticos indican resultados comparables en pacientes que recibieron nutrición enteral o parenteral.¹⁷

Con este fin, se realizó una encuesta sobre la transición de nutrición parenteral total a nutrición enteral en pacientes críticos en los hospitales de España,¹⁸ y sugiere que dicha transición debe ser gradual entre 60-75% de los requerimientos calóricos y proteicos hacia la vía enteral en un tiempo estimado de 72 horas. Apoyado por las guías ESPEN, con aporte calórico con aumento al objetivo de 25% para el día uno, 50% para el día dos y 75% para el día tres mediante nutrición en-

teral,¹⁹ monitorizando estrechamente los aportes calóricos y proteicos de ambos soportes nutricionales para evitar la sobrenutrición.²⁰

Sin más preámbulos, el desarrollo y la implementación de protocolos basados en la evidencia científica sobre el manejo del tratamiento médico nutricional mejoran la práctica clínica e impactan en el pronóstico de los pacientes críticos.^{16,17} Ampliar el conocimiento sobre nutrición clínica y soporte nutricional como un adecuado cálculo del requerimiento energético en el paciente crítico son fundamentales para garantizar una atención adecuada,²¹ con claro objetivo de optimizar su condición, dando cabida a ampliar más estudios con este propósito.

Evaluación de los requerimientos energéticos

La determinación precisa de las necesidades energéticas y la prevención del desequilibrio energético, son fundamentales en el paciente crítico para evitar las consecuencias nocivas de una alimentación inadecuada, y se ha buscado la manera de determinar un buen cálculo de éste.

En varias terapias intensivas se utiliza la regla del dedo, que son 25 kcal/kg/día de aporte calórico con una contribución proteica que oscila entre 1.2-2 g/kg/día (guías ESPEN);¹¹ sin embargo, esta práctica generalizada no ha tenido una validación rigurosa. Conjuntamente a ello, variedad de fórmulas dirigidas por la condición del paciente se han desarrollado y empleado a través de los años,² pese a considerarse como ecuaciones predictivas inexactas en pacientes con un índice de masa corporal (IMC) extremo (IMC < 16 y > 40 kg/m²).²⁻²² La más empleada es la de Harris Benedict, con una tasa de precisión entre 43 y 64% para pacientes críticos y obesos, respectivamente.^{1,2}

A pesar de las relaciones significativas entre el requerimiento energético medido y el calculado, las diferencias significativas sugieren que el uso de ecuaciones predictivas conduce a sobrealimentación y subalimentación significativas, las cuales pueden dar lugar a resultados clínicos deficientes.⁵ La evidencia muestra que la subalimentación aumenta la duración de la estancia hospitalaria, las infecciones, la insuficiencia orgánica, prolonga la ventilación mecánica e incrementa la mortalidad; mientras que la sobrealimentación se asociada con hiperglucemia, hipertrigliceridemia, esteatosis hepática, azotemia, hipercapnia y aumento de la mortalidad.^{23,24}

De esta manera, los dietistas y nutriólogos deben confiar en el cálculo de calorimetría indirecta (CI) cuando esté disponible y se justifica una mayor capacitación en la interpretación de la misma,⁴ ya que se ha convertido en el estándar de oro para medir los requere-

rimientos energéticos basales como el consumo de oxígeno (VO₂) y la producción de dióxido de carbono (VCO₂);^{1,2,20-24} o bien, dicho de otra manera, mide el intercambio de gases respiratorios para estimar el metabolismo energético;²⁵ valores entendidos por la ecuación de Weir: RE (kcal/día) = 1.44 × [3.94 × VO₂ (mL/min) + 1.11 × VCO₂ (mL/min) + nitrógeno urinario (g/día) × 2.17].²⁶ Incluye la medición del contenido de nitrógeno urinario que representa la oxidación de proteínas, lo que sirve para dar seguimiento y balance entre el nitrógeno administrado en la dieta y el eliminado medido en la recolección de orina de 24 horas.^{27,28}

Ya aplicado a nivel celular, el metabolismo implica la producción de trifosfato de adenosina (ATP), con dióxido de carbono (CO₂) y agua como subproductos, consumiendo oxígeno (O₂) y quemando sustratos como glucosa, ácidos grasos libres y aminoácidos. Como la energía producida es igual a la energía consumida, la CI mide O₂ consumido y la producción de CO₂, que representa en tiempo real metabolismo energético.²⁹ Debido a su no invasividad, repetibilidad y asequibilidad, la CI es la herramienta favorita para medir RE en pacientes con diversas patologías, ya sea durante la respiración espontánea o LA ventilación mecánica.⁶

Lo ideal es que el objetivo calórico individual se base en la evaluación frecuente del requerimiento energético. La calorimetría indirecta se considera el estándar de oro, pero no siempre está disponible. El requerimiento calórico/energético (RE) estimado mediante el consumo de dióxido de carbono derivado del ventilador (MVCO₂) se ha propuesto como una alternativa a la calorimetría indirecta,³⁰ pero existe evidencia limitada que respalde el uso de este método, de allí la importancia de desplegar estudios acordes a este tema.³¹

Dentro de este margen, es preciso saber que la relación de VCO₂ a VO₂ (VCO₂/VO₂), llamado cociente respiratorio (RQ), refleja la tasa de oxidación de sustratos en sujetos metabólicamente estables;³² da idea de la condición del paciente, su estado basal y evolutivo; además, su medición es un indicador de calidad. Su valor fisiológico oscila entre 0.67 y 1.2, ayuda a guiarnos al requerimiento energético a restablecer y varía según las necesidades energéticas de cada paciente.³³

Las mediciones de CI se pueden realizar utilizando el circuito de ventilación en pacientes con ventilación mecánica para muestreo de gases, o mediante el uso de una capucha de dosel o máscara facial en pacientes que respiran espontáneamente para analizar su aire espirado con varios dispositivos disponibles.³⁴ El Delta trac[®] fue el método metabólico más validado y se usó con frecuencia hasta que se interrumpieron las ventas;²⁶ Quark RMR[®], E-COVX[®], CCM Express[®] y Vmax[®] demostraron ser iguales o inferiores al Delta trac[®] con similares deterioros técnicos.³⁵ Además de estos dis-

positivos autónomos, algunos ventiladores mecánicos tienen funciones de CI integradas, pero su uso aún no ha sido validado.²⁹⁻³¹

No obstante, existe un debate sobre el momento óptimo para cubrir el valor de energía determinado y la capacidad del intestino gravemente enfermo para acomodar y absorber la alimentación administrada.¹⁰ La intolerancia gastrointestinal es frecuente en los pacientes de la UTI y puede impedir alcanzar el objetivo de calorías predefinido, debido a la incapacidad de absorber la nutrición suministrada.³⁶

Las guías insisten en evaluar la mejor ruta de alimentación para cada paciente, con el fin de limitar el riesgo de estrés del intestino y el déficit calórico requerido y acumulado desde el primer día de estancia en la UTI.

En algunos pacientes críticos inestables se requiere de monitorización adicional para guiar las decisiones terapéuticas, con la prioridad de calcular el consumo de oxígeno y de esta manera estimar el requerimiento energético basal,²⁰ lo que ha llevado a emplear técnicas como la calorimetría indirecta o medición de MVCO₂ arrojado por el ventilador mecánico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño metodológico: estudio prospectivo, transversal y de correlación.

Universo y población disponible: adultos de uno u otro sexo que ingresaron a la UTI del Centro Médico Dalinde, entre el 1 de enero y el 30 de marzo de 2024, que estuvieron con soporte ventilatorio avanzado de la vía aérea y que cumplieron los criterios de selección.

Unidad de análisis: pacientes con soporte ventilatorio avanzado de la vía aérea a quienes se midió requerimiento energético por calorimetría directa y se les calculó con la producción de MVCO₂ arrojado por ventilador Drager al cuarto día de internamiento. El seguimiento fue con prealbúmina y transferrina.

Tamaño de muestra: el cálculo de muestra poblacional se basó en la siguiente fórmula para:

$$n = [(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma) / (e)]^2$$

donde:

n: tamaño de la muestra

α: nivel de significación deseado teniendo en cuenta que 1-α es el nivel de confianza deseado.

Muestreo: se realizó un muestreo no probabilístico. Se reclutaron a todos los individuos que cumplieron con los criterios de selección y aceptaron la participación en el estudio por medio de la firma del consentimiento informado o la de sus familiares.

Criterios de inclusión: • Pacientes entre 18 y 69 años. • Pacientes con 24 horas de intubación. • Pacien-

tes con 24 horas de estancia en la UTI que requieran soporte avanzado de la vía aérea y cuenten con el Software de calorimetría indirecta, su apoyo de ventilación esté dado por ventilador Drager con medición de MVCO₂, con lo que se podrá hacer el cálculo de requerimiento calórico, con la siguiente fórmula:^{31,37,38} RE = MVCO₂ * 8.25. • Pacientes que brinden su consentimiento informado para participar en el estudio y firmen el documento correspondiente.

Criterios de exclusión: • Pacientes con edad menor a 17 años o mayor a 70 años. • Pacientes con patología renal aguda o crónica o con hepatopatía. • IMC < 18 o > 35 kg/m². • Inestabilidad hemodinámica dada por (tensión arterial media < 65 mmHg).

Criterios de eliminación: • Pacientes con alta voluntaria. • Pacientes con traslados a otra unidad médica. • Pacientes con una o más mediciones incompletas en el instrumento de medición.

Análisis estadístico: el registro de las mediciones se realizó con Microsoft Excel 2021 para Windows y el análisis estadístico con el programa SPSS17 para Windows. Se realizó una descripción de las variables y del estado de los pacientes por medio de proporciones y medidas de tendencia central con análisis estadístico bivariado. Para correlacionarlas se utilizará el coeficiente de correlación de Kappa y diferencia de medias.

Aspectos éticos: El presente estudio se rigió bajo los Acuerdos y Clarificaciones de la Declaración de Helsinki, el Código de Nuremberg, Informe Belmont, Normas CIOMS, Buenas Prácticas Clínicas para las Américas y el Reglamento de la Ley General de Salud (LGS) en Materia de Investigación para la Salud (MIS); en particular por los artículos 13 respecto a dignidad y protección de los derechos del paciente; 20 y 21 regulando el consentimiento informado; así como la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SS3-2012 para la Ejecución de Proyectos de Investigación para la Salud en Seres Humanos. Este trabajo, según el artículo 17 de la LGS en MIS, está catalogado como un estudio de bajo riesgo. El Comité de Ética en Investigación y el Comité de Investigación fueron informados y brindaron las autorizaciones correspondientes. Al momento de su ingreso hospitalario los pacientes firmaron el consentimiento informado correspondiente. Todos los datos de los pacientes fueron tratados con total confidencialidad, según lo estipula la legislación vigente y los protocolos correspondientes para el manejo de datos en el Centro Médico Dalinde.

RESULTADOS

Se ingresaron un total de 40 pacientes. La media de edad fue 57.3 ± 9 años. Respecto a la distribución por sexo, 55.0% fueron hombres. La media de IMC fue de

27.9 ± 3.8 kg/m². El 47.5% fue RASS -3, 42.5% RASS -4 y 10% RASS -5. El detalle de los diagnósticos de ingreso se muestra en la [Tabla 2](#).

La media de MVCO₂ por CI fue 141.67 ± 26.5 mL/min, la de MVCO₂ dado por ventilador mecánico Drager fue 141.35 ± 32, la media de prealbúmina fue 17.27 ± 5.8 mg/dL, la media de transferrina fue 223.5 ± 80.7 mg/dL, más detalles [Tabla 3](#).

Tabla 2: Características generales de la población (N = 40).

Características	n (%)
Edad*	57.3 ± 9
Sexo	
Hombre	22 (55.0)
Mujer	18 (45.0)
IMC*	27.9 ± 3.8
RASS	
-3	19 (47.5)
-4	17 (42.5)
-5	4 (10)
Accidental	
Sí	2 (5.0)
No	38 (95.0)
Postcirugía	
Sí	6 (15)
No	34 (85)
Enfermedad respiratoria	
Sí	20 (50)
No	20 (50)
Enfermedad cardiovascular	
Sí	13 (32.5)
No	27 (67.5)
Enfermedad neurológica	
Sí	2 (5)
No	38 (95)
Sepsis	
Sí	26 (65)
No	14 (35)
Cáncer	
Sí	6 (15)
No	34 (85)
VIH	
Sí	2 (5)
No	38 (95)
Autoinmune	
Sí	2 (5)
No	38 (95)
Modo ventilatorio	
Asistido	36 (90)
Bilevel	1 (2.5)
APRV	1 (2.5)
Presión soporte	2 (5)
PEEP	
5	33 (82.5)
6	6 (15)
7	1 (2.5)

* Datos expresados en media ± desviación estándar.

APRV = ventilación con liberación de presión de la vía aérea. DE = desviación estándar. IMC = índice de masa corporal. PEEP = presión positiva al final de la espiración (*Positive End-Expiratory Pressure*). RASS = escala de agitación-sedación Richmond (*Richmond Agitation-Sedation Scale*). VIH = virus de inmunodeficiencia humana.

Tabla 3: Características de VCO₂ y otras variables (N = 40).

	n (%)
VCO ₂ CI*	141.67 ± 26.5
VCO ₂ Draguer*	141.35 ± 32.0
RE CI*	1,221.5 ± 271.9
RE Draguer*	1,166.02 ± 287.1
Prealbúmina*	17.27 ± 5.8
Transferrina*	223.5 ± 80.7
Opioides	40 (100.0)
Vasopresores	40 (100.0)
Inotrópicos	11 (26.8)
Antibióticos	40 (100.0)
Tipo de nutrición	
Ninguna	3 (7.5)
Enteral	29 (72.5)
Parenteral	4 (10)
Mixta	4 (10)

* Datos expresados en media ± desviación estándar.

CI = calorimetría indirecta. VCO₂ = producción de dióxido de carbono.

RE = requerimiento energético.

Por último, se realizó un análisis de diferencia de medias para uno y otro método. Para MVCO₂ la diferencia de medias fue 0.1166, con $p = 0.907$. Para RE la diferencia de medias fue 1.7277, con $p = 0.091$.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el estudio arrojan una relación porcentual entre los datos del cálculo del requerimiento energético calculado por calorimetría indirecta y el calculado a partir de la producción de MVCO₂ por el ventilador Draguer.

Matthew F y colaboradores, en su estudio realizado en 2021 sobre factores de riesgo nutricional en la unidad de cuidados intensivos, afirman que el RE puede ser calculado a partir del MVCO₂ arrojado por el ventilador,⁹ manteniendo la posibilidad de obtener esta medida no sólo de manera asertiva con la calorimetría indirecta, sino también empleando la medición de MVCO₂ a partir del ventilador mecánico, lo que apoya nuestro resultado.

Se encontraron resultados con significancia estadística en un estudio, comparados con los hallazgos de G. Kaur KH y J. Kuo en *Clinical Nutrition* publicado en 2018, donde describen un relación entre medición de requerimiento energético a partir de calorimetría indirecta y el calculado a partir del ventilador mecánico, con $p = 0.87$ para arrojar una relación lineal, resultado similar al nuestro evidenciando en la [Tabla 4](#), reportes que guían a una proximidad importante entre ambas mediciones.

De acuerdo con lo reportado con Mette M. Berger y asociados en 2022, el MVCO₂ por CI versus el MVCO₂ por el ventilador, tuvieron una adecuada correlación

que se demostró con los resultados que se obtuvieron al comparar el valor de prealbúmina (valor normal > 18 mg/dL) y transferrina (valor normal > 170 mg/dL) entre ambos grupos, y al medir el resultado nutricional final ($p = 0.09$), lo que demuestra la escasa diferencia entre ambos métodos.

En el análisis de diferencia de medias para uno y otro método, tanto para MVCO₂ como para RE, realizado en nuestro estudio, no hubo diferencias en usar un método en comparación del otro ($p = 0.907$ y $p = 0.091$, respectivamente). Un resultado similar fue reportado en un estudio realizado en Colombia por Carlos S y colegas en 2020, el cual concluyó que una alternativa en las UTI con bajos recursos sin calorímetro es el uso de ventilador mecánico con medición de la producción de CO₂ del paciente.

No hay duda alguna en que la calorimetría indirecta es el estándar de oro para el cálculo del requerimiento energético, pero los resultados son comparables con los arrojados por el ventilador Draguer. Un hallazgo similar fue reportado en el estudio DREAM-VCO₂ en 2020,³⁰ por lo cual, podemos decir que esta medición puede ser utilizada para calcular el RE. Esta afirmación también es apoyada por el estudio de Oshhima T y colaboradores respecto al cálculo de requerimiento energético a partir del CO₂ medido por el ventilador,^{37,39} dando seguridad para la toma de decisiones y manejo de los paciente en la UTI, siendo participes de la gran utilidad en unidades de bajos recursos o que no cuentan con la capacitación adecuada para el uso del calorímetro, demostrando la mayor y mejor aproximación para cumplir esta meta, como menciona G. Murray y asociados en 2022.⁴ Pese a ello, vale aclarar que se requieren estudios con mayor número poblacional que mantengan esta correlación.

CONCLUSIÓN

La adecuada monitorización del paciente en estado crítico, y más aún el ámbito nutricional, se ha convertido en un desafío que rodea al paciente, entendiendo sus diferentes interacciones, entre la patología de base y los factores de riesgo que lo llevaron a su internamiento.

Tabla 4: Análisis de diferencia de medias.

	Media	Varianza	DM	p
VCO ₂ CI	141.67	704.4	0.1166	0.907
VCO ₂ Draguer	141.35	1,026.2		
RE CI	1,221.55	2.1101	1.7277	0.091
RE Draguer	1,166.0	6.9706		

VCO₂ = producción de dióxido de carbono. VCO₂ CI = medición de VCO₂ por calorimetría indirecta. VCO₂ Draguer = medición de VCO₂ por ventilador Draguer. RE CI = gasto energético medido por calorimetría indirecta. RE Draguer = gasto energético medido por ventilador Draguer.

Este trabajo brinda una alternativa para predecir el requerimiento energético basal para, seguido a ello, continuar hacia la suplencia óptima nutricional, y reducir estándares de morbimortalidad e incremento en los gastos de atención médica.

De este modo, la producción de MVCO₂ por el ventilador para calcular el RE es una herramienta fácil de emplear y utilizar por el personal médico y de enfermería sin altos niveles de capacitación porque brinda una aproximación real del requerimiento energético del paciente; además, tiene un menor coste económico en su manejo y requiere menos implementos para su uso.

En contextos donde no se cuente con el equipo adecuado que permita realizar calorimetría indirecta, la estimación del requerimiento calórico por medición de MVCO₂ dado por ventilador mecánico es una alternativa de gran utilidad.

REFERENCIAS

- Achamrah N, Delsoglio M, De Waele E, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry: the 6 main issues. *Clin Nutr*. 2021;40(1):4-14. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32709554/>. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.06.024> 0261
- Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry in clinical practice. *J Clin Med*. 2019;8(9):1387. doi: 10.3390/jcm8091387. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31491883/>
- Saw Kian C, Department of Anaesthesiology & Intensive Care, Faculty of Medicine, Universiti Kebangsaan Malaysia Medical Centre, Jalan Yaacob Latif, Bandar Tun Razak, 56000 Cheras, Kuala Lumpur, Malaysia. A comparison between continuous indirect calorimetry and single weight-based formula in estimating resting energy expenditure in nutritional therapy: a prospective randomized controlled study in critically ill patients. *Med Health Dec*. 2021;16(2):207-215. Available in: https://journalarticle.ukm.my/182771/1/15_ms0520_pdf_12714.pdf
- Murray G, Thomas S, Dunlea T, Nahikiasn-Nelm M, Roberts K. Predictive energy equations are correlated with indirect calorimetry in critical care: is correlation good enough? *J Acad Nutr Diet*. 2022;122(9):A24. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jand.2022.06.088>
- Pizarro Gómez CE, Dueñas Castell C, Nieto Estrada VH, Gil Valencia BA, Durán Pérez JC, Ferrer Zaccaro L, et al. Consenso colombiano de criterios de ingreso a cuidados intensivos: Task force de la Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidados Intensivos (AMCI®). *Acta Colomb Cuid Intensivo*. 2023;23(2):202-228. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acci.2023.04.008>
- Gostynska A, Stawny M, Dettlaff K, Jelińska A. Clinical nutrition of critically ill patients in the context of the latest ESPEN guidelines. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(12):770. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31810303/> <http://dx.doi.org/10.3390/medicina55120770>
- Gunst J, Van den Berghe G. Intensive care nutrition and post-intensive care recovery. *Crit Care Clin*. 2018;34(4):573-583. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30223995/> <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2018.06.004>
- Berger MM, Shenkin A, Schweinlin A, Amrein K, Augsburger M, Biesalski H-K, et al. ESPEN micronutrient guideline. *Clin Nutr*. 2022;41(6):1357-1424. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35365361/> <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.02.015>
- Mart MF, Girard TD, Thompson JL, Whitten-Vile H, Raman R, Pandharipande PP, et al. Nutritional Risk at intensive care unit admission and outcomes in survivors of critical illness. *Clin Nutr*. 2021;40(6):3868-3874. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34130034/> <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.05.005>
- Pizarro GCE, Durán JC, Nieto EVH, Gil VBA, Ferrer ZL, Dueñas CC, et al. Consenso colombiano de calidad en cuidados intensivos: *task force* de la Asociación Colombiana de Medicina Crítica y Cuidados Intensivos (AMCI®). *Acta Colomb Cuid Intensivo*. 2023;23(2):164-201. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.acci.2023.04.007>
- Reignier J, Boisramé-Helms J, Brisard L, Lascarrou J-B, Ait Hssain A, Anguel N, et al. Enteral versus parenteral early nutrition in ventilated adults with shock: a randomised, controlled, multicentre, open-label, parallel-group study (NUTRIREA-2). *Lancet*. 2018;391(10116):133-143. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29128300/> [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32146-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32146-3)
- Xu E, Tejada S, Solé-Lleonart C, Campogiani L, Valenzuela-Sanchez F, Koulioti D, et al. Evaluation of the quality of evidence supporting guideline recommendations for the nutritional management of critically ill adults. *Clin Nutr ESPEN*. 2020;39:144-149. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32859308/> <http://dx.doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.07.004>
- Vaquerizo-Alonso C, Bordejé-Laguna L, Fernández-Ortega JF, Bordejé-Laguna ML, Fernández-Ortega JF, García de Lorenzo y Mateos A, et al. Recomendaciones para el tratamiento nutrometabólico especializado del paciente crítico: introducción, metodología y listado de recomendaciones. Grupo de Trabajo de Metabolismo y Nutrición de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC). *Med Intensiva*. 2020;44:1-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medin.2020.02.008>
- Álvarez J, Lallena S, Bernal M. Nutrición y pandemia de la COVID-19. *Medicine*. 2020;13(23):1311-1321. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.med.2020.12.013>
- Herrero Meseguer JI, Lopez-Delgado JC, Martínez García MP. Recomendaciones para el tratamiento nutrometabólico especializado del paciente crítico: indicaciones, momento de inicio y vías de acceso. Grupo de Trabajo de Metabolismo y Nutrición de la Sociedad Española de Medicina Intensiva, Crítica y Unidades Coronarias (SEMICYUC). *Med Intensiva*. 2020;44:33-38. doi: 10.1016/j.medin.2019.12.017. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32532408>
- Schorghuber M, Fruhwald S. Effects of enteral nutrition on gastrointestinal function in patients who are critically ill. *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2018;3(4):281-287. doi: 10.1016/S2468-1253(18)30036-0 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29533200/>
- Compher C, Bingham AL, McCall M, Patel J, Rice TW, Braunschweig C, et al. Guidelines for the provision of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2022;46(1):12-41. doi: 10.1002/jpen.2267. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34784064/>
- Pérez-Cordón L, Yébenes JC, Martínez de Lagrán I, Campins L. Transition from total parenteral nutrition to enteral nutrition in critically ill patients in Spain: a national survey. *Med Intensiva*. 2022;46(8):475-477. doi: 10.1016/j.medine.2022.06.003. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35760732/>
- Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr*. 2019;38(1):48-79. doi: 10.1016/j.clnu.2018.08.037. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30348463>
- Yébenes J, Campins L, Martínez de Lagrán I, Bordeje L, Lorencio C, Grau T, et al. Nutritrauma: a key concept for minimising the harmful effects of the administration of medical nutrition therapy. *Nutrients*. 2019;11(8):1775. doi: 10.3390/nu11081775. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31374909>
- Moya-Moya AJ, López-García MC, Sirvent-Segovia AE, Jiménez-Martínez CM, Ruiz de Assín Valverde A, Madrona-Marcos FM, et al. Percepción de conocimiento sobre Nutrición Clínica hospitalaria en los médicos residentes de un hospital terciario. *Endocrinol Diabetes Nutr*. 2022;69(4):247-253. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.endinu.2021.03.002>
- Seres D, Parsons PE, Finlay G. *Soporte nutricional en pacientes críticos: una visión general. Update Revisión de la literatura*

- actual hasta: abril de 2023. [Consultada 24 mayo 2023] Última actualización de este tema: 06 de febrero de 2023.
23. Mason JB. Principios nutricionales y evaluación del paciente con problemas digestivos. *Nutrición en Gastroenterología*. Parte II, Pág.: 52-73. Elsevier España. 2022.
 24. De Waele E, Jonckheer J, Wischmeyer PE. Indirect calorimetry in critical illness: a new standard of care? *Curr Opin Crit Care*. 2021;27(4):334-343. doi: 10.1097/MCC.0000000000000844 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33990505>
 25. Moonen HPFX, Beckers KJH, van Zanten ARH. Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. *J Intensive Care*. 2021;9(1):8. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33436084/> <https://doi.org/10.1186/s40560-021-00524-0>
 26. Landi Degl'Innocenti E. *Termometria e calorimetria*. In: Egidio Landi Degl'Innocenti. *Elementi di meccanica dei fluidi, termodinamica e fisica statistica*. Milano: Springer Milan; 2019. p. 81-110. Available in: https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-88-470-3991-9_4
 27. Kopp Lugli A, de Watteville A, Hollinger A, Goetz N, Heidegger C. Medical nutrition therapy in critically ill patients treated on intensive and intermediate care units: a literature review. *J Clin Med*. 2019;8(9):1395. doi: 10.3390/jcm8091395. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31500087>
 28. Kaiyala KJ, Wisse BE, Lighton JRB. Validation of an equation for energy expenditure that does not require the respiratory quotient. *PLoS One* [Internet]. 2019;14(2):e0211585. Available in: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0211585>
 29. Tah PC, Lee Z-Y, Poh BK, Abdul Majid H, Hakumat-Rai V-R, Mat Nor MB, et al. A single-center prospective observational study comparing resting energy expenditure in different phases of critical illness: Indirect calorimetry versus predictive equations. *Crit Care Med*. 2020;48(5):e380-390. doi: 10.1097/CCM.0000000000004282 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32168031>
 30. Koekkoek WAC, Xiaochen G, van Dijk D, van Zanten ARH. Resting energy expenditure by indirect calorimetry versus the ventilator-VCO₂ derived method in critically ill patients: The DREAM-VCO₂ prospective comparative study. *Clin Nutr ESPEN*. 2020;39:137-143. doi: 10.1016/j.clnesp.2020.07.005 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32859307>
 31. Achamrah N, Oshima T, Genton L. Innovations in energy expenditure assessment. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2018;21(5):321-328. doi: 10.1097/MCO.0000000000000489 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29912811>
 32. Rattanachaiwong S, Singer P. Indirect calorimetry as point of care testing. *Clin Nutr*. 2019;38(6):2531-2544. doi: 10.1016/j.clnu.2018.12.035 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30670292>
 33. Slingerland-Boot H, Adhikari S, Mensink MR, van Zanten ARH. Comparison of the Beacon and Quark indirect calorimetry devices to measure resting energy expenditure in ventilated ICU patients. *Clin Nutr ESPEN*. 2022;48:370-377. doi: 10.1016/j.clnesp.2022.01.015 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35331516>
 34. Delsoglio M, Dupertuis YM, Oshima T, van der Plas M, Pichard C. Evaluation of the accuracy and precision of a new generation indirect calorimeter in canopy dilution mode. *Clin Nutr*. 2020;39(6):1927-1934. doi: 10.1016/j.clnu.2019.08.017 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31543335>
 35. Wischmeyer PE, Molinger J, Haines K. Point-counterpoint: indirect calorimetry is essential for optimal nutrition therapy in the intensive care unit. *Nutr Clin Pract*. 2021;36(2):275-281. doi: 10.1002/ncp.10643. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33734477>
 36. Berger MM, Pichard C. Feeding should be individualized in the critically ill patients. *Curr Opin Crit Care*. 2019;25(4):307-313. doi: 10.1097/MCC.0000000000000625 Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31145118>
 37. Leyes P, Forga M, Herrero I. *Capítulo 69: Soporte nutricional. Atención a las diversas patologías en la unidad de cuidados intensivos*. Elsevier. España. 2024.
 38. Arroyo-Sánchez AS. Calorimetría indirecta en cuidado crítico: una revisión narrativa. *Rev Nutr Clin Metab*. 2020;3(2):45-56. doi: <https://doi.org/10.35454/rnmc.v3n2.88>. Disponible en: <https://revistanutricionclinicametabolismo.org/index.php/nutricionclinicametabolismo/article/view/88>
 39. Oshima T, Graf S, Heidegger CP, Genton L, Pugin J, Pichard C. Can calculation of energy expenditure based on CO₂ measurements replace indirect calorimetry? *Critical Care*. 2017;21(1). doi: 10.1186/s13054-016-1595-8. Available in: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28107817>

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiamiento: ninguno.

Correspondencia:

Dr. Gerardo Rafael Chávez Dulce

E-mail: gechamed076@gmail.com