

Estimación del gasto energético por calorimetría indirecta comparada con ecuaciones predictivas en pacientes crítico-oncológicos.

Recibido: 07 / 12 / 2023

Aceptado para publicación:

01 / 01 / 2024

Estimation of energy expenditure by indirect calorimetry compared with predictive equations in critical-oncology patients.

Chung-Sang et. al. " Estimación del gasto energético por calorimetría indirecta comparada con ecuaciones predictivas en pacientes crítico-oncológicos.". revista RENC Vol 7 número 1, Pág 9-17

Resumen

Objetivo.

El objetivo principal del estudio es comparar la estimación del gasto energético real mediante calorimetría indirecta versus ecuaciones predictivas como Harris Benedict (HB) y regla del pulgar (RP) en el paciente crítico oncológico.

Métodos.

Se realizó un estudio observacional descriptivo prospectivo de corte transversal en 19 pacientes críticos oncológicos ingresados la unidad de cuidados intensivos SOLCA Guayaquil, durante los meses de marzo y abril de 2023 donde se aplicaron las fórmulas de predicción de consumo energético en reposo (REE), y la determinación mediante calorimetría indirecta (CI) posterior a 48 horas de ingreso en pacientes que recibieron nutrición parenteral o enteral.

Resultados.

La media de REE medido por CI fue de $1661,58 \pm 392,79$ kcal, mientras que estimada por fórmula de HB fue de $1406,88 \pm 318,36$ kcal y por RP de $2028,47 \pm 535,63$ kcal.

***Chung Sang Miguel^{1,2}, Macanchi Namicela Christian , Veliz Ortega José ³, Abril Rodríguez Paúl ³, Martínez Edison, García Cruz Carlos^{1,2}, Bowen Aquiles⁴, Roosevelt Fernando ⁴, Aguirre Ochoa Ma. Eugenia⁵**

1 Médico Intensivista, UCI SOLCA Guayaquil

2 Tutor Medicina Crítica, Universidad Espíritu Santo – Guayaquil- Ecuador

3 Postgrado de Medicina Crítica Universidad Espíritu Santo – Guayaquil- Ecuador

4 Postgrado de Medicina Crítica Universidad Espíritu Santo – Guayaquil- Ecuador

5 Médica Nutrióloga Tratante de soporte

Nutricional Hospital de Río y Monte Sinaí Profesora de Soporte Nutricional, Universidad de Cuenca- Ecuador

[*mchungmd@hotmail.com](mailto:mchungmd@hotmail.com)

Al análisis de correlación entre GEB predicho por HB, dio una $r=0.59$ (moderada) pero con una variabilidad del 35.8%; y entre RP y CI dio un $r=0.43$ (baja) pero con una variabilidad de 18.8%.

Conclusiones.

Los datos recientes permiten observar una correlación deficiente o sobreestimada entre el gasto de energía predicho por las ecuaciones en comparación con el gasto energético medido por calorimetría indirecta, lo que se puede considerar como un indicador de que la calorimetría indirecta sea el estándar de atención.

Palabras clave:

Calorimetría, nutrición, estado nutricional, evaluación nutricional, nutrición parenteral, nutrición enteral.

ABSTRACT

Aim: The main objective of the study is to compare the estimate of real energy expenditure using indirect calorimetry versus predictive equations such as Harris

Benedict (HB) and rule of thumb (RP) in the critically ill oncological patient.

Methods: A prospective descriptive cross-sectional observational study was carried out in 19 Critical oncological patients admitted to the SOLCA intensive care unit Guayaquil, during the months of March and April 2023 where the formulas were applied prediction of energy consumption at rest (REE), and the determination by indirect calorimetry (IC) after 48 hours of admission in patients who received parenteral or enteral nutrition.

Results: The mean REE measured by CI was 1661.58 ± 392.79 kcal, while estimated by HB formula it was 1406.88 ± 318.36 kcal and by RP it was 2028.47 ± 535.63 kcal. To the correlation analysis between GEB predicted by HB, gave an $r=0.59$ (moderate) but with a variability of 35.8%; and between RP and CI it gave $r=0.43$ (low) but with a variability of 18.8%.

Conclusions:

Recent data allow us to observe a poor or overestimated correlation between the energy expenditure predicted by the equations compared to the energy expenditure measured by indirect calorimetry, which can be considered as an indicator that Indirect calorimetry is the standard of care.

KEYWORDS: Calorimetry, nutrition, nutritional status, nutritional evaluation, parenteral nutrition, enteral nutrition.

INTRODUCCIÓN

La nutrición del paciente en estado crítico es uno de los pilares para aliviar variables de morbilidad y coste médico, la malnutrición entendida como la sobre o infra alimentación produce una serie de resultados adversos en los pacientes críticos por ello el soporte nutricional del paciente crítico es un tema que resurge en los últimos años con publicaciones de estudios científicos que demuestran los beneficios de la medición del gasto energético real a través de calorimetría indirecta para cubrir de manera óptima los requerimientos nutricionales. En la actualidad se conoce que cada paciente presenta características individuales que hacen que la terapéutica impartida en la unidad de cuidados intensivos deba ser personalizada e individualizada, eso quiere decir ajustada tanto a la patología que padece el enfermo como a las particularidades individuales.

Se estima que el 22% de pacientes hospitalizados presentan desnutrición y tiene mayor prevalencia en pacientes oncológicos ya sea por disminución en la ingesta de alimentos o alteración en la absorción de los nutrientes, el estado nutricional por tanto cobra importancia ya que se relaciona directamente con el resultado del tratamiento, las complicaciones y la calidad de vida del paciente;

Kang MC, et al. en un estudio multicéntrico demostró que la desnutrición se asocia a mayor estancia hospitalaria (7 vs 12 días entre pacientes con desnutrición y sin desnutrición), además de menor supervivencia a los 90 días (97,9% vs 58,3% $p < 0.001$) (1)(2). Si a esto se añade que el paciente crítico oncológico cursa con un estado de estrés y catabolismo mayor se entenderá que las estadísticas mencionadas incrementarán cuando no se brinde el soporte nutricional necesario.

La desnutrición en la unidad de cuidados intensivos de Solca Guayaquil se presenta en alrededor del 30% de los pacientes hospitalizados, al no contar con instrumentos de monitoreo como la calorimetría indirecta, el soporte nutricional se ha basado en las recomendaciones de las guías internacionales de nutrición y el cálculo con fórmulas predictivas que según los resultados de estudios científicos se ha observado que los resultados de las mismas no llegan ni al 50% de los requerimientos reales del paciente, influyendo directamente en la presentación de complicaciones como infecciones nosocomiales, ventilación mecánica prolongada y aumento de mortalidad, correlacionándose con los datos a nivel internacional y de grandes estudios multicéntricos.

El estado nutricional no es estático, es un estado cambiante por ello es primordial evaluarlo periódicamente, basándose en el estado inflamatorio y metabólico del paciente. La terapia nutricional óptima requiere una provisión de energía lo más cerca posible al gasto energético real y para medirlo la calorimetría indirecta es la técnica estándar; de manera general en los pacientes críticos se observa que el déficit energético es de -6000 kcal siendo este el punto de corte para que aumente la mortalidad. A pesar de estos datos el uso en la UCI de esta tecnología no es frecuente, antiguamente eran instrumentos con altos costos y que necesitaban de operadores certificados, hoy en día los monitores de calorimetría indirecta son más accesibles, la medición se realiza en menor tiempo con alto nivel de precisión. (3) Al aplicar la calorimetría indirecta se generan datos de monitoreo del gasto energético real del paciente, pudiendo de esta manera mejorar la prescripción de soporte nutricional disminuyendo complicaciones, días de estancia hospitalaria y por ende consumo de recursos económicos; además de mejorar la morbilidad y mortalidad de los pacientes hospitalizados en UCI.

El objetivo principal del estudio es medir el gasto energético real mediante calorimetría indirecta y observar si este método tiene valores más cercanos a la realidad del paciente en comparación Harris Benedict y regla del pulgar en el paciente crítico oncológico.

El gasto energético total (GET) diario de una persona tiene 3 componentes:

- El gasto energético basal (energía necesaria para el funcionamiento orgánico) representa el 60% del GET.

- La termogénesis inducida por la dieta (energía necesaria para ingerir, degradar y absorber los alimentos) representa 10%.

- La actividad física que en el paciente crítico es reemplazada por el grado de estrés dado por la gravedad de la patología que atraviesa, a esto se debe sumar las actividades de rehabilitación que realiza el paciente ya sean activas o pasivas todo esto representa 30% del GET y es el factor más variable en la medición calorimétrica. (4)

Los macronutrientes (carbohidratos, proteínas y lípidos) son la principal fuente de energía orgánica, a través de la oxidación en el metabolismo celular aerobio, dicho proceso consume O_2 (VO_2) y genera CO_2 (VCO_2) entre otras sustancias como resultado final, las características de consumo de O_2 , generación CO_2 y energía por cada gramo de macronutriente.

Los instrumentos de calorimetría indirecta miden el VO_2 y el VCO_2 en el flujo de aire respirado a través de la ecuación de Weir:

$$GE \text{ (kcal/día)} = 1,44 \times [3,94 \times VO_2(\text{mL/min}) + 1,11 \times VCO_2(\text{mL/min}) + \text{nitrógeno urinario (g/día)} \times 2,17]$$

Como la proporción de GE obtenido por el nitrógeno urinario es menor a 4 % – 5 % del GE total, se puede omitir la inclusión de este parámetro en el cálculo final generándose la ecuación de Weir simplificada

$$\text{GE (Kcal/día)} = [3,94 (\text{VO}_2 \text{ mL/min}) + 1,11 (\text{VCO}_2 \text{ mL/min})] 1,44$$

La relación que existe entre el consumo de O₂ y generación de CO₂ se denomina cociente respiratorio (CR) se obtiene dividiendo VCO₂/VO₂, un metabolismo equilibrado estará entre 0.7 a 1.1, valores < 0.7 significará lipólisis por déficit de carbohidratos y si es > 1.1 lipogénesis por exceso de carbohidratos. (1)

La calorimetría indirecta permite medir el GET tanto en pacientes con respiración espontánea como en ventilación mecánica. En pacientes ventilados mecánicamente, la toma de muestras de gases respiratorios es adquirida por el circuito conectando al tubo endotraqueal y medido "respiración a respiración". En sujetos que respiran espontáneamente, se utiliza una capucha de dosel ventilada o una máscara facial ajustada, tanto en el ventilador como modo dosel, los gases respiratorios son analizados por el calorímetro indirecto.

Para el cálculo del GET existen varias fórmulas predictivas que se acercan al requerimiento real en pacientes sanos, sin embargo cuando existe patología y más aún patología crítica el resultado se aleja de realidad de la necesidad del paciente, por ello es que la calorimetría indirecta debe realizarse en:

- Pacientes con morfología alterada (amputados, obesos, edematosos).
- Pacientes con scores de predicción de riesgo nutricional alto.
- Falla del apoyo nutricional basado en las necesidades energéticas previstas para mantener o recuperar el peso corporal.
- Enfermedad crítica aguda asociada a grandes cambios dinámicos del nivel de estrés metabólico como los pacientes con estrés severo (sepsis, pancreatitis grave, trauma multisistémico, gran quemado).
- Gestantes.
- Pacientes con inadecuada respuesta a las ecuaciones predictivas (sin mejoría de parámetros bioquímicos).

El enfermo en estado crítico requiere estudios de CI repetidos para observar la evolución de la respuesta metabólica a la inestabilidad hemodinámica, fiebre, cirugía, destete de la ventilación mecánica, etc. Una sola medición de CI rara vez es suficiente, ya que el GET está influenciado por el curso natural de la enfermedad.

La inmovilización física y los cambios en la terapéutica médica lleva a la pérdida de hasta 300 - 600g de masa magra al día, siendo necesario mediciones cada dos o tres días en pacientes con cambios rápidos de su estado clínico, para ir ajustando de manera adecuada el aporte calórico y proteico. (5)

Las variaciones diarias de GET pueden proporcionar una idea sobre la mejora o deterioro de la condición clínica. El GET generalmente se reduce durante las fases iniciales de choque y aumenta en estados inflamatorios debido a que el hipermetabolismo es resultado de una producción elevada de citocinas proinflamatorias, que se asocia con una mayor producción y liberación de hormonas contrarreguladoras, como cortisol, glucagón y catecolaminas. (3) Wu et al. reportaron que en sepsis severa, cuanto mayor sea el GET en los primeros 5 días, mayor mortalidad (OR 1,018, IC 95%, 1,010-2,544, p = 0,031). (7)

La CI debe ser evitada en pacientes con:

- Fuga endotraqueal o en el circuito ventilatorio.
- Fístula broncopulmonar
- Presión positiva al final de la espiración (PEEP) > 12 mmHg.
- Pacientes que requieren una fracción inspiratoria de oxígeno (FIO₂) > 0,6. (4)

La calorimetría debe realizarse en aproximadamente 30 minutos y se puede realizar 1 o 2 veces al día, siempre y cuando la ejecución del estudio no interfiera con el tratamiento intensivo requerido por el paciente en estado crítico.

La patología crítica se asocia a un estado hipermetabólico, y dependerá del tipo de soporte que reciba el paciente para que se mantenga dicha condición, se sabe que el uso de betabloqueantes, analgésicos y sedantes pueden atenuar la respuesta e incluso inducir un estado hipometabólico, al igual que el reposo prolongado en cama, la atrofia de la masa corporal magra metabólicamente activa y la ventilación mecánica reducen el GET. En pacientes con insuficiencia orgánica múltiple, la pérdida de masa corporal magra es muy rápida y resultó en una pérdida del 22% en 10 días y ninguna ecuación predictiva mostró una buena concordancia en comparación con GET medido por CI. (12) (13)

La variación de los requerimientos depende del tipo de patología crítica, dentro de las que más variación presentan están los pacientes traumatizados que mostraron hipermetabolismo incluso cuando estaban muy sedados o médicamente paralizados, el traumatismo craneoencefálico aumenta el GET entre el 87 % al 200 %, si el paciente se mantiene en coma barbitúrico el GET se reduce, sorprendentemente en el estudio realizado por Foley et al. se evidencia que en aquellos que se diagnostica muerte encefálica, el valor osciló entre el 75 % y el 200 %. (14) (15)

En pacientes quemados el GET aumenta hasta un 100%, y se relaciona directamente con el trauma por quemadura, ya que conduce a complicaciones sépticas graves, insuficiencia multiorgánica y mayor mortalidad. Por estas características los pacientes quemados muestran un GET altamente dinámico y variable hasta 160 días después de la lesión, Berger et al compara métodos predictivos con CI en pacientes quemados evidenciándose la dinámica de la variación y la falta de concordancia entre CI y fórmulas predictivas. (16)

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. Se ha demostrado que la subalimentación aumenta la duración de la estancia hospitalaria, las infecciones, la insuficiencia orgánica, prolonga la ventilación mecánica y aumenta la mortalidad, mientras que la sobrealimentación se ha asociado con hiperglucemia, hipertrigliceridemia, esteatosis hepática, azotemia, hipercapnia y aumento de la mortalidad. (5)

Zusman et al. observaron que la mortalidad más baja en la UCI se presenta cuando se cubre el 80% del porcentaje de calorías obtenidas por CI, las cuales deben ser cubiertas y mantenidas entre el 3er y el 10mo día, posterior a ello cubrir al menor el 75 % de los requerimientos (p < 0,05). Por el contrario, los incrementos del cociente por encima de ese punto, en concreto > 110 %, se asociaron con un aumento de la mortalidad (p < 0,05); todo esto analizado en pacientes

con larga estancia en UCI analizando mortalidad a los 60 días. (17)

El momento óptimo para cubrir el valor de energía determinado por CI sigue en debate ya que se debe evaluar la capacidad del intestino gravemente enfermo para digerir y absorber la alimentación administrada. La intolerancia gastrointestinal es frecuente en los pacientes de la UCI y puede impedir el logro del objetivo calórico predefinido debido a la incapacidad de absorber la nutrición suministrada. (5)

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realizó un estudio observacional descriptivo retrospectivo de corte transversal en 19 pacientes críticos oncológicos ingresados en la unidad de cuidados intensivos SOLCA Guayaquil, donde se aplicaron las fórmulas de predicción de consumo energético en reposo (REE), y la determinación mediante calorimetría indirecta (CI) posterior a 48 horas de ingreso en pacientes que recibieron nutrición parenteral o enteral. Se realizó la medición calorimétrica mediante el equipo COSMED® Q-NRG+. Se utilizó en paciente ventilados y no ventilados de acuerdo con los protocolos del equipo. Para los pacientes ventilados, el sensor de la producción de CO₂ (VCO₂) está dado por un neumotacógrafo previamente calibrado en el equipo, que se coloca entre el sistema de circuito cerrado del paciente y el sistema corrugado del ventilador, acompañado de un filtro específico de vapor de agua. El equipo permite la determinación de la fracción inspirada de oxígeno (FiO₂) mediante una conexión directa con el ventilador mecánico. En los pacientes no ventilados, el sensor de VCO₂ se conecta a través de una mascarilla facial, configurando de manera manual otros parámetros necesarios, como FiO₂. En este estudio, los pacientes en los cuales se realizó la determinación de CI no ventilados, ninguno tuvo un aporte de oxígeno suplementario.

RESULTADOS

La población estudiada contó con un total de 19 participantes ingresados en la unidad de cuidados intensivos SOLCA Guayaquil. Las características poblacionales se citan en la tabla 1. Del total de pacientes, 10 fueron mujeres y 9 hombres. Todos fueron mayores de 18 años, sin restricción superior en cuanto a límite de edad. En la valoración por IMC, solo 1 de los pacientes estudiados presentó un índice de masa corporal por debajo de 20, mientras que los demás se encontraron por encima de 20, lo que se refleja en su media. Se evaluaron los riesgos nutricionales mediante las dos calculadoras que emplean la internación en UCI como parámetro a considerar, que son Nutric Score III y en Nutricional Risk Score 2002 (NRS2002). (Tabla 1)

En lo que respecta al aporte nutricional empleado, se utilizó de manera preferencial nutrición enteral en un 84% de los pacientes, restringiendo el uso de emulsiones parenterales tricamerales para aquellos pacientes en los que no se podía utilizar la vía oral. En todos los casos que la vía oral no estuvo disponible, se debió a un procedimiento quirúrgico sobre el tracto gastrointestinal.

El equipo empleado para la determinación de los requerimientos calóricos mediante calorimetría indirecta fue COSMED® Q-NRG+. Los pacientes evaluados contaron con todos los prerrequisitos

establecidos por el protocolo de la marca para obtener resultados fidedignos, como son la realización a las 48 horas de ingreso del paciente, sin dosis altas de soporte vasopresor (norepinefrina menor a 0,25ug/kg/m, dobutamina inferior a 10ug/kg/m y vasopresina inferior a 4U/h) o requerimientos de oxígeno superiores a una fracción inspirada superior a 50%. El tiempo de evaluación censado fue de mínimo 15 minutos y de máximo 20 minutos. Se consideraron solamente válidos aquellos pacientes que presentaron variabilidades de CO₂ y O₂ inferiores al 10% durante toda la evaluación. El método predominante fue adaptación del equipo a la ventilación mecánica invasiva, mediante un neumotacógrafo ubicado entre el circuito cerrado del paciente y el sistema corrugado de la VMI, previamente calibrado. El sistema Canopy® de mascarilla facial se usó únicamente en 2 pacientes, con los mismos parámetros de validación. (Tabla 2)

Las mediciones con calorimetría indirecta se realizaron simultáneamente con el cálculo por fórmula de Harris Benedict y la regla del pulgar. Evidenciando diferentes valores de kilocalorías totales en todos los métodos. (Tabla 3)

La media de estimación de consumo energético por CI medida por el equipo COSMED® Q-NRG+ fue de 1661,58 ± 392,79 kcal, por fórmula de Harris Benedict fue de 1.406,88 ± 318,36 kcal y por regla del pulgar de 2028,47 ± 535,63 kcal. (Tabla 3). Es notable que, hay un 71% de infraestimación por parte de la predicción por HB frente a CI; y un 79% de Sobreestimación con la predicción por RP frente a CI. (Figura 1)

Cuando hacemos la comparación entre el método de CI vs la predicción por HB, encontramos que haciendo el análisis del coeficiente de correlación de Pearson = 0.588 (moderada correlación). Con un coeficiente r²=0.34 de determinación que nos indica que el 34.6% de la variabilidad de la determinación del GEB por CI es explicado por la variable GEB por HB. (Figura 2). Así mismo encontramos que al hacer la comparación entre el método de CI vs la predicción por Regla del pulgar, la técnica de Pearson nos dio una r = 0.4336 (moderada a pobre correlación) con un coeficiente de determinación r²=0.188; que nos indica que el 18.8% de la variabilidad de la variable REE por CI es explicado por la variable REE predicho por RP. (Figura 3)

DISCUSIÓN

El riesgo nutricional en los pacientes críticos es una realidad que debemos enfrentar con nuestro mejor arsenal, por la importancia capital que poseen los requerimientos calóricos de la población de UCI para enfrentar las patologías y la estancia en las áreas críticas. De esto, se deriva la necesidad de optimizar cada vez más los requerimientos calóricos. La estadificación de los riesgos nutricionales se puede obtener por fórmulas validadas, considerando a nuestro criterio superior el NRS2002 frente al Nutric Score III (Nutr Clin Pract. 2022 octubre;37(5):1199-1205). Una vez enfrentado el riesgo que corre el paciente, el aporte energético que le suministremos será decisivo para su pronóstico a corto y largo plazo. En nuestra unidad de cuidados intensivos, de manera tradicional hemos empleado la regla del pulgar como medida para estimar los requerimientos calóricos (Kcal/kg = 30) llegando a la meta según las individualizaciones de casos, es decir con aportes parciales dependiendo de la patología que involucre al paciente. Si bien el empleo de fórmulas de predicción de

consumo energético está validado en la literatura, no deja de ser un método estandarizado que se aleja de la tendencia universal de los cuidados críticos: individualizar al paciente.

El equipo COSMED® Q-NRG+ fue el elegido para la determinación calorimétrica mediante calorimetría indirecta. Los resultados que se obtuvieron fueron comparados con las fórmulas de predicción de Harris Benedict y la regla del pulgar. Para la fórmula de Harris Benedict, no se utilizó factor de corrección y para la regla del pulgar se estandarizó como objetivo aportar 30kcal/kg de peso en pacientes estabilizados a las 48 horas de ingreso a la unidad. Se utilizó en la comparativa el término equivalencia, si el REE obtenido por la fórmula versus la calorimetría indirecta era de $1 \pm 0,10$, infraestimado si era menor a 0,90 y sobrestimado si lo superaba (mayor a 1,10).

Como podemos ver en las figuras 1 a 3, el porcentaje que se puede considerar equivalente es de 26% y 16% para las fórmulas de Harris Benedict y regla del pulgar, respectivamente. La tendencia a infraestimar el consumo energético real por Harris Benedict es del 71% mientras que la tendencia a sobreestimar el REE fue del 79% para la regla del pulgar. La correlación entre los distintos métodos de estimación del REE fue moderada entre CI y HB ($r=0,59$ $r^2=0,358$); y baja entre CI y RP ($r=0,433$ $r^2=0,188$).

Estos datos se correlacionan con los publicados por Arash Pirat en 2009 en pacientes críticos oncológicos; donde tanto los valores medidos como los de Harris-Benedict fueron significativamente más bajos que el gasto de energía en reposo estimado clínicamente ($P < 0,003$ para ambos). El coeficiente de correlación de Pearson reveló una correlación significativa ($p < 0,001$) entre el gasto energético en reposo medido y el gasto energético basal de Harris Benedict ($r = 0,587$) y en cambio la correlación entre el gasto energético en reposo medido y el gasto energético estimado clínicamente fue pobre ($r=0,24$) pero no significativa ($p 0,17$). Ambos Harris-Benedict y los métodos de estimación clínica se asociaron con una alta incidencia de alimentación insuficiente (29% y 15%, respectivamente) o sobrealimentación (29% con la ecuación de Harris-Benedict y 71% con el método de estimación clínica)⁽³²⁾

El uso de la calorimetría indirecta como monitor para el gasto energético en reposo y una guía adecuada y optimizada para la dosificación calórica en pacientes críticamente enfermos está experimentando un "renacimiento" desde la perspectiva científica. Basta citar a Singer et al, en su publicación en la ESPEN, donde demuestra que los resultados en bibliotecas de búsqueda virtual de PubMed sobre "calorimetría indirecta y UCI" aumentaron en un 263% en los últimos 10 años desde una perspectiva de recomendación clínica. Esto tiene toda la razón de ser, cuando validamos nuestros datos con los obtenidos con las fórmulas de predicción de requerimiento calórico que como vemos en los gráficos respectivos, en menos del 30% guardaron correlación significativa con los resultados de la calorimetría indirecta.

El principal beneficio de la realización de CI en la práctica clínica es lograr una nutrición óptima; el estudio TICACOS mostró una tendencia hacia una menor mortalidad en los pacientes que recibieron mayor aporte calórico guiado por CI realizado día a día (balance energético acumulado de 2008 $\pm$ 2177 kcal vs -3550 $\pm$ 4591kcal) (mortalidad hospitalaria de 32,3 vs 47,7 %, respectivamente, $P=0,058$) (18). En este estudio el aporte calórico medio

fue estimado por CI medida por el equipo COSMED® Q-NRG+ fue de 1661,58 $\pm$ 392,79 kcal.

Heidegger et al. encontró una reducción significativa en la infección nosocomial en pacientes que recibieron nutrición parenteral suplementaria (NPS) para cubrir el objetivo calórico (balance energético acumulado de 124 $\pm$ 1589 kcal vs -2317 $\pm$ 2657 kcal) (razón de riesgo 0,65, IC del 95% 0,43 -0,97; $p=0,0338$)

El estudio EAT-ICU alcanzó en el día 1 el objetivo calórico del 100 % según GE medido y no encontró ninguna ventaja significativa en comparación con la terapia estándar con respecto a la calidad de vida física a los 6 meses ni mejoría de los resultados estudiados por recomendaciones de las guías nutricionales (25 kcal/kg/día). (20)

En pacientes ventilados mecánicamente, se ha propuesto que el VCO₂ medido por el ventilador se aproxime al GE, sin embargo, Oshima et al. informaron que el GE a partir de CO₂ exhalado no era lo suficientemente preciso como para considerarlo como una alternativa al GE medido, ya que es probable que la variabilidad de CR influya en la precisión de los resultados (23).

Zusman et al. intentaron validar las ecuaciones predictivas más comúnmente usadas (25 Kcal / kg / día, Harris-Benedict con y sin factor de corrección, Penn State University, IretonJones, Faisy, Mifflin-St. Jeor y Jolliet) en 1440 pacientes encontrando que el nivel de precisión de las ecuaciones no superó 50 % en los pacientes de cuidados intensivos. (17). Mostrando correlación con la heterogeneidad de los resultados de este estudio observacional donde el gasto energético estimado por fórmula de Harris Benedict fue de 1406,88 $\pm$ 318,36 kcal y por regla del pulgar de 2028,47 $\pm$ 535,63 kcal mostrando una amplia heterogeneidad lo que se correlación con el nivel de precisión estimado por Zusman y colaboradores.

Recientemente, Berger et al. informaron que alimentar a los pacientes para cumplir con un objetivo de energía medido individualizado utilizando nutrición parenteral complementaria en caso de falla de la nutrición enteral exclusiva desde el día 4 se asoció con una mejor inmunidad, menos inflamación sistémica y una tendencia a una menor pérdida de masa muscular. Pradelli et al. informaron que la optimización de la provisión de energía usando nutrición parenteral complementaria es una estrategia de ahorro de costos en adultos críticamente enfermos para quienes la NE es insuficiente para cumplir con los requisitos de energía. En este estudio el predominio de uso vía de nutrición enteral fue superior al uso de la vía parenteral (16 vs 3). Se necesitan más estudios para comprender mejor el impacto de enfocarse en las necesidades medidas de CI en pacientes de la UCI. (30) (31)

CONCLUSIONES

La enfermedad crítica con todo el conocimiento que se posee en la actualidad exige una terapia nutricional objetiva y dirigida para prevenir los efectos adversos de la subalimentación/sobrealimentación. Por lo tanto, todas las directrices nutricionales recientes recomiendan el uso de calorimetría indirecta para determinar las necesidades energéticas. Muy recientemente, la tecnología de calorimetría indirecta finalmente ha evolucionado para permitir una utilización precisa, simple y rutinaria en una gama más amplia de pacientes

de la UCI. Los datos recientes continúan confirmando una correlación deficiente o sobreestimada entre el gasto de energía medido y el gasto de energía predicho por las ecuaciones de la comparativa, lo que enfatiza la necesidad de que la calorimetría indirecta sea el estándar de atención. Esto puede ser particularmente cierto en la fase aguda del paciente crítico, donde se ha demostrado un hipermetabolismo progresivo significativo y variabilidad en el gasto energético. La fisiología metabólica puede cambiar con frecuencia durante la estancia en la UCI en respuesta a cambios en la condición clínica o a la atención que como sanitarios brindemos a los pacientes. Por lo tanto, se necesitan medidas longitudinales repetidas de calorimetría indirecta durante toda la estancia en la UCI para optimizar la atención, con datos iniciales que muestran mejores resultados clínicos cuando se utilizan objetivos de calorimetría indirecta. Se necesitan más estudios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Kang MC, et al; Korean Society for Parenteral and Enteral Nutrition (KSPEN) Clinical Research Groups. Prevalence of Malnutrition in Hospitalized Patients: a Multicenter Cross-sectional Study. J Korean Med Sci. 2018 Jan 8;33(2):e10. doi: 10.3346/jkms.2018.33.e10. PMID: 29215819; PMCID: PMC5729651.
2. Bossi, P.; Delrio, P.; Mascheroni, A.; Zanetti, M. The Spectrum of Malnutrition/Cachexia/ Sarcopenia in Oncology According to Different Cancer Types and Settings: A Narrative Review. Nutrients 2021, 13, 1980. <https://doi.org/10.3390/nu13061980>
3. Achamrah N, Delsoglio M, De Waele E, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry: The 6 main issues. Clin Nutr. 2021 Jan;40(1):4-14. doi: 10.1016/j.clnu.2020.06.024. Epub 2020 Jul 2. PMID: 32709554.
4. Arroyo Sánchez, A. S. (2020). Calorimetría indirecta en cuidado crítico: una revisión narrativa. Revista De Nutrición Clínica Y Metabolismo, 3(2). <https://doi.org/10.35454/rncm.v3n2.88>
5. Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. J Clin Med. 2019 Sep 5;8(9):1387. doi: 10.3390/jcm8091387. PMID: 31491883; PMCID: PMC6780066.
6. Maxwell J, Gwardischladse C, Lombardo G, Petrone P, Policastro A, Karev D, et al. The impact of measurement of respiratory quotient by indirect calorimetry on the achievement of nitrogen balance in patients with severe traumatic brain injury. Eur J Trauma Emerg Surg. 2017;43(6):775-82.
7. Wu C, Wang X, Yu W, Tian F, Liu S, Li P, et al. Hypermetabolism in the Initial Phase of Intensive Care Is Related to a Poor Outcome in Severe Sepsis Patients. Ann Nutr Metab. 2015;66(4):188-95.
8. Preiser JC, Ichai C, Orban JC, Groeneveld AB. Metabolic response to the stress of critical illness. Br J Anaesth. 2014 Dec;113(6):945-54. doi: 10.1093/bja/aeu187. Epub 2014 Jun 26. PMID: 24970271.
9. Kreymann, Georg MD; Grosser, Sebastian MD; Buggisch, Peter MD; Gottschall, Claus; Matthaei, Stephan MD; Greten, Heiner MD. Oxygen consumption and resting metabolic rate in sepsis, sepsis syndrome, and septic shock. Critical care medicine: July 1993 - volume 21 - issue 7 - p 1012-1019
10. Isabella P Carneiro, Sarah A Elliott, Mario Siervo, Raj Padwal, Simona Bertoli, Alberto Battezzati, Carla M Prado, Is Obesity Associated with Altered Energy Expenditure?, *Advances in Nutrition*, Volume 7, Issue 3, May 2016, Pages 476–487, <https://doi.org/10.3945/an.115.008755>
11. Rattanachaiwong, S.; Singer, P. Indirect Calorimetry as Point of Care Testing. Clin. Nutr. 2019.
12. Puthucherry, Z.A.; Rawal, J.; McPhail, M.; Connolly, B.; Ratnayake, G.; Chan, P.; Hopkinson, N.S.; Phadke, R.; Dew, T.; Sidhu, P.S.; et al. Acute skeletal muscle wasting in critical illness. JAMA 2013, 310, 1591–1600.
13. Jeon, J.; Kym, D.; Cho, Y.S.; Kim, Y.; Yoon, J.; Yim, H.; Hur, J.; Chun, W. Reliability of resting energy expenditure in major burns: Comparison between measured and predictive equations. Clin. Nutr. 2018.
14. McClave, S.A.; Martindale, R.G.; Kiraly, L. The use of indirect calorimetry in the intensive care unit. Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care 2013, 16, 202–208.
15. Foley, N.; Marshall, S.; Pikul, J.; Salter, K.; Teasell, R. Hypermetabolism following moderate to severe traumatic acute brain injury: A systematic review. J. Neurotrauma 2008, 25, 1415–1431.
16. Berger, M.M.; Pichard, C. Feeding should be individualized in the critically ill patients. Curr. Opin. Crit. Care 2019, 25, 307–313.
17. Zusman, O.; Theilla, M.; Cohen, J.; Kagan, I.; Bendavid, I.; Singer, P. Resting energy expenditure, calorie and protein consumption in critically ill patients: A retrospective cohort study. Crit. Care 2016, 20, 367.
18. Singer P, Anbar R, Cohen J, Shapiro H, Shalita-Chesner M, Lev S, et al. The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill patients. Intensive care medicine. 2011;37(4):601-9.
19. Heidegger CP, Berger MM, Graf S, Zingg W, Darmon P, Costanza MC, et al. Optimisation of energy provision with supplemental parenteral nutrition in critically ill patients: a randomised controlled clinical trial. Lancet. 2013;381(9864):385-93.
20. Allingstrup MJ, Kondrup J, Wiis J, Claudius C, Pedersen UG, Hein-Rasmussen R, et al. Early goal-directed nutrition versus standard of care in adult intensive care patients: the single-centre, randomised, outcome assessor-blinded EAT-ICU trial. Intensive care medicine. 2017;43(11):1637-47.
21. Weiner ID, Mitch WE, Sands JM. Urea and Ammonia Metabolism and the Control of Renal Nitrogen Excretion. Clin J Am Soc Nephrol. 2015;10(8):1444-58.

22. Tatuco-Babet OA, Ridley EJ, Tierney AC. Prevalence of Underprescription or Overprescription of Energy Needs in Critically Ill Mechanically Ventilated Adults as Determined by Indirect Calorimetry: A Systematic Literature Review. JPEN J Parenter Enteral Nutr. 2016;40(2):212-25.
23. 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):13.
24. Inadomi, C.; Terao, Y.; Yamashita, K.; Fukusaki, M.; Takada, M.; Sumikawa, K. Comparison of oxygen consumption calculated by Fick's principle (using a central venous catheter) and measured by indirect calorimetry. J. Anesth. 2008, 22, 163–166.
25. Barak, N.; Wall-Alonso, E.; Cheng, A.; Sitrin, M.D. Use of bioelectrical impedance analysis to predict energy expenditure of hospitalized patients receiving nutrition support. JPEN 2003, 27, 43–46
26. Jesus, P.; Achamrah, N.; Grigioni, S.; Charles, J.; Rimbart, A.; Folope, V.; Petit, A.; Déchelotte, P.; Coëffier, M. Validity of predictive equations for resting energy expenditure according to the body mass index in a population of 1726 patients followed in a Nutrition Unit. Clin. Nutr. 2015, 34, 529–535.
27. Rattanachaiwong S, Singer P. Indirect calorimetry as point of care testing. Clin Nutr. 2019;38(6):2531-44. doi: 10.1016/j.clnu.2018.12.035
28. Oshima, T.; Berger, M.M.; De Waele, E.; Guttormsen, A.B.; Heidegger, C.P.; Hiesmayr, M.; Singer, P.; Wernerman, J.; Pichard, C. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. Clin. Nutr. 2017, 36, 651–662
29. Oshima, T.; Dupertuis, Y.M.; Delsoglio, M.; Graf, S.; Heidegger, C.P.; Pichard, C. In vitro validation of indirect calorimetry device developed for the ICALIC project against mass spectrometry. Clin. Nutr. ESPEN. 2019, 32, 50–55.
30. Berger MM, Pantet O, Jacquelin-Ravel N, Charriere M, Schmidt S, Becce F, et al. Supplemental parenteral nutrition improves immunity with unchanged carbohydrate and protein metabolism in critically ill patients: The SPN2 randomized tracer study. Clinical nutrition. 2018.
31. Pradelli L, Graf S, Pichard C, Berger MM. Supplemental parenteral nutrition in intensive care patients: A cost saving strategy. Clinical nutrition. 2018;37(2):573-9.
32. Pirat, A., Tucker, A. M., Taylor, K. A., Jinnah, R., Finch, C. G., Canada, T. D., & Nates, J. L. (2009). Comparison of measured versus predicted energy requirements in critically ill cancer patients. Respiratory Care, 54(4), 487–494.

9.- ANEXOS

Parámetro	Media
Edad	53,68 ± 15,79
IMC	26,34 ± 4,91
Nutric Score III	3,63 ± 0,90
NRS2002	3,05 ± 0,85

Tabla 1: Características de la población estudiada. En los datos del Nutric Score III no se tomó en cuenta la IL-6.

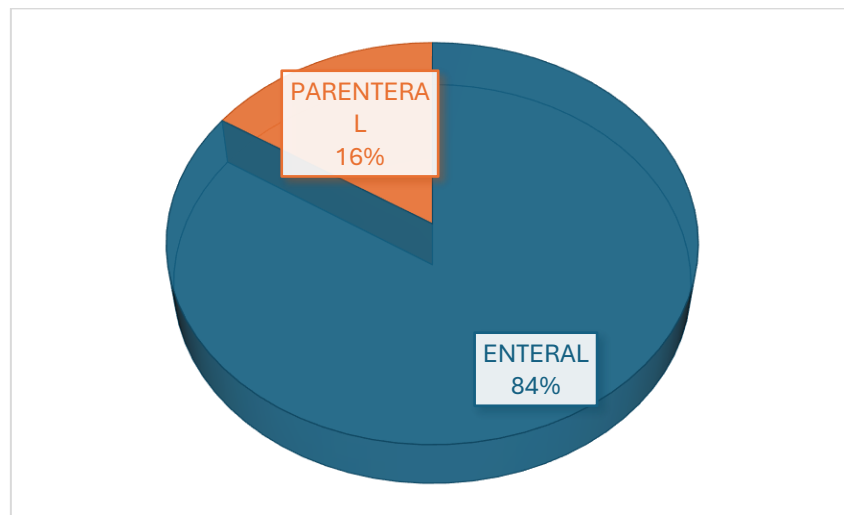


Gráfico 1: Tipos de nutrición empleada en los pacientes evaluados.

Resultados de calorimetría indirecta	Media
Tiempo censado	15,26 ± 1,14
REE	53,68 ± 15,79
RQ	26,34 ± 4,91
VAR CO2	3,63 ± 0,90
VAR O2.	3,05 ± 0,85

Tabla 2: Resultados obtenidos de la medición calorimetría por el equipo Cosmos®. REE: Gasto energético basal, RQ: Cociente respiratorio, VAR CO2: Variabilidad de CO2, VAR O2: Variabilidad de O2

Evaluación calorimétrica	Media (kcal totales)
Calorimetría indirecta	1661,58 ± 392,79
Harris Benedict	1406,88 ± 318,36
Regla del pulgar	2028,47 ± 535,63

Tabla 3: Medias de consumo calórico por calorimetría indirecta, Harris Benedict y Regla del pulgar.

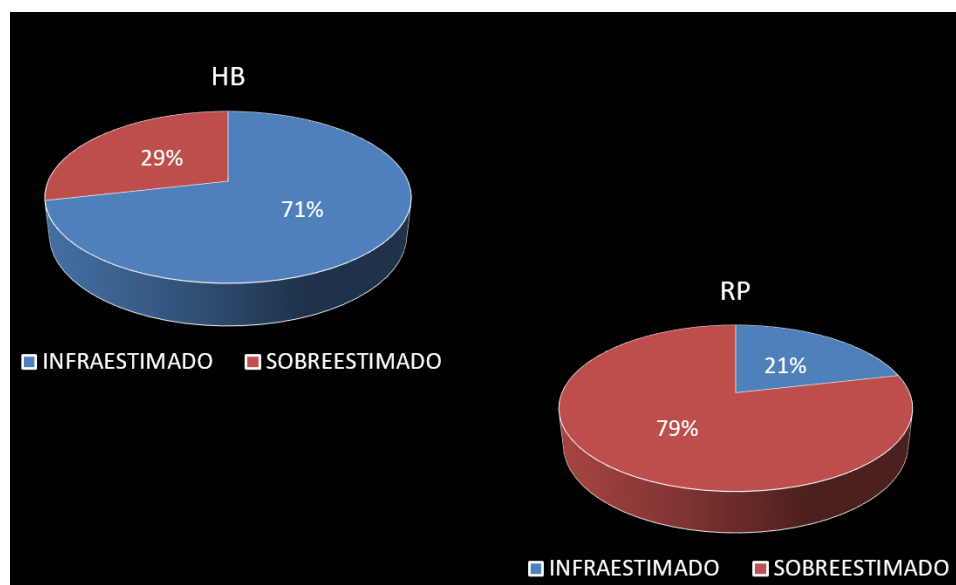
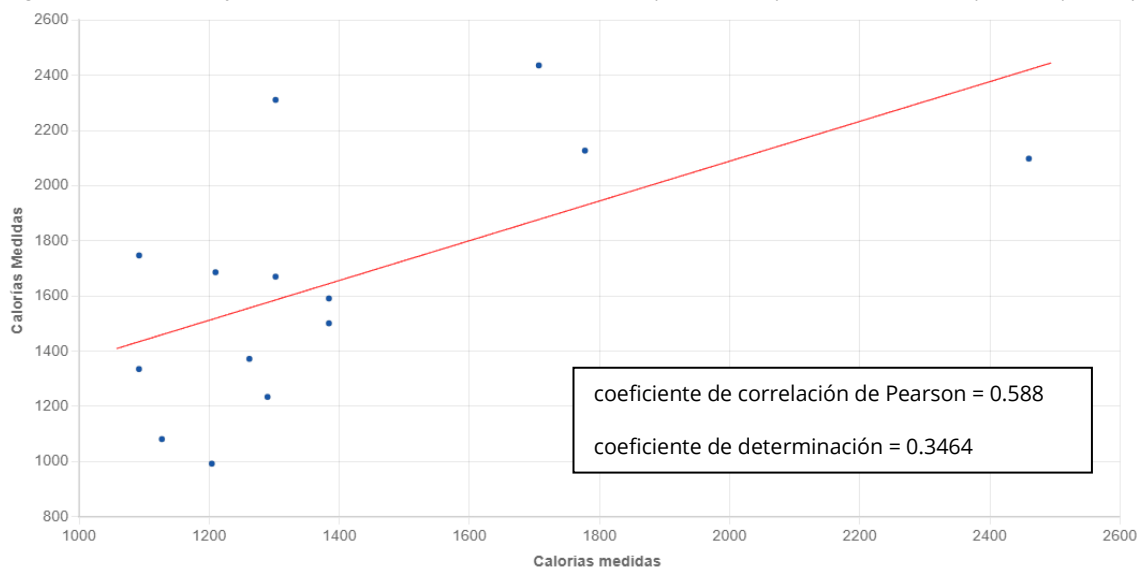


Figura 1: Comparativa entre los datos de REE medidos por CI vs HB y CI vs RP; donde observamos que el REE es Infraestimado por HB y sobreestimado por RP.

Figura 2: Análisis el coeficiente de correlación de Pearson = 0.588, se puede decir que las variables GEB predicho por HB y



GEB medido por CI presentan una correlación moderada. Dado que el valor de r es positivo, indica una relación positiva entre las variables (el crecimiento en una variable se asocia con un crecimiento en la otra variable). Y según el coeficiente de determinación, se puede decir que el 34.6% de la variabilidad de la variable REE por CI es explicado por la variable REE predicho por formula de HB.

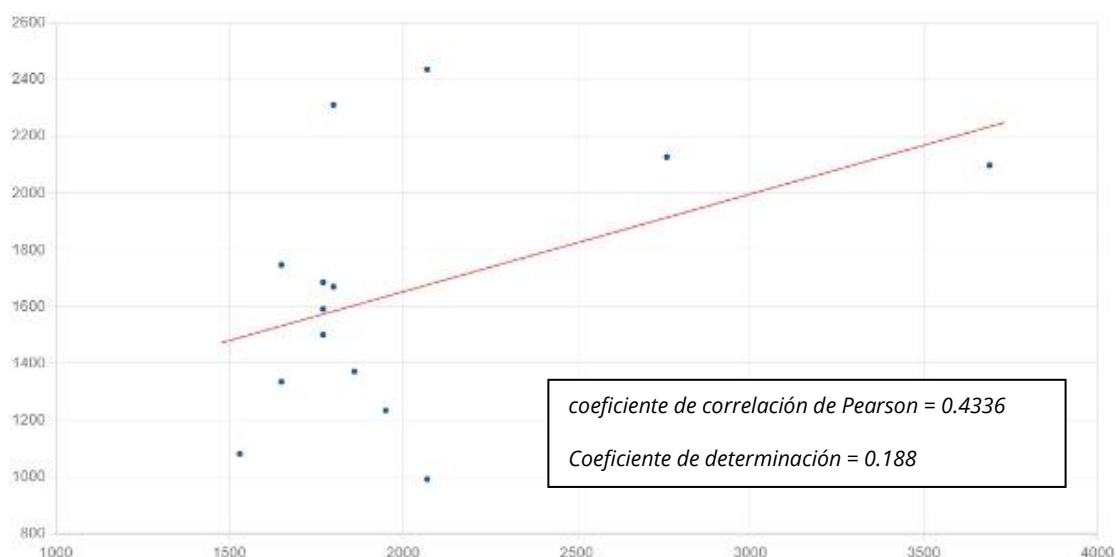


Figura 2: Análisis el coeficiente de correlación de Pearson = 0.4336, se puede decir que las variables REE predicho por RP y REE medido por CI presentan una correlación moderada. Dado que el valor de r es positivo, indica una relación positiva entre las variables (el crecimiento en una variable se asocia con un crecimiento en la otra variable). Según el coeficiente de determinación, se puede decir que el 18.8% de la variabilidad de la variable REE por CI es explicado por la variable REE predicho por formula del pulgar.