



**CONGRESO
NACIONAL**

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
FARMACIA HOSPITALARIA

MÁLAGA 15-17 OCT 25

Sapere Aude

Reflexión ante nuevos retos

NUEVOS RETOS EN LA VALORACIÓN DEL ESTADO
NUTRICIONAL: TÉCNICAS EMERGENTES.

CALORIMETRÍA INDIRECTA

Amaia Egüés Lugea

Hospital Universitario de Navarra

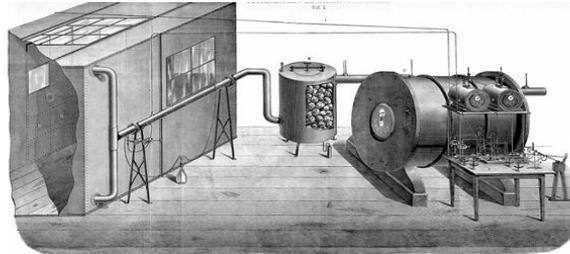
Grupo FARMIC

HISTORIA DE LA CALORIMETRÍA: DE LA "COMBUSTIÓN LENTA" A LOS SISTEMAS MODERNOS

- El concepto que sustenta la calorimetría se remonta a la antigüedad, mucho antes de que existieran métodos de medición precisos.
- Los cimientos de la calorimetría como ciencia se establecieron a finales del siglo XVIII



1777:Lavoisier and Laplace



1862: Pettenkofer describió y construyó el primer calorímetro indirecto de circuito abierto de habitación completa para humanos (Pettenkofer's Repirationsapparat)



Métodos de estimación de requerimientos energéticos

Calorimetría indirecta

- Método más preciso
- Se considera el estándar de oro
- Recomendado por principales sociedades científicas



Ecuaciones predictivas

- Harris-Benedict, OMS, Mifflin-St Jeor, Penn State, Ireton-Jones,....
- Emplean variables como peso, talla, edad y sexo
- Ninguna ecuación ha demostrado ser consistentemente superior en todos los grupos de pacientes

Fórmulas simplificadas basadas en peso

- 25–30 kcal/kg/día en adultos hospitalizados, ajustando según el grado de actividad y estado clínico.

Imprecisión de las ecuaciones predictivas

SUBESTIMACIÓN

SOBREESTIMACIÓN

Subgrupo EP	Nº de EP comparado con las mediciones de CI	Nº de estimaciones <90% respecto al valor de la CI	Nº de estimaciones >110% respecto al valor de la CI
Prescripciones fijas	33	13 (39%)	4 (12%)
Harris-Benedict	57	31 (54%)	4 (7%)
Ireton-Jones	10	2 (20%)	4 (40%)
Otros	38	8 (21%)	7 (18%)
Penn State	22	6 (27%)	0 (0%)
Total	160	60 (38%)	19 (12%)

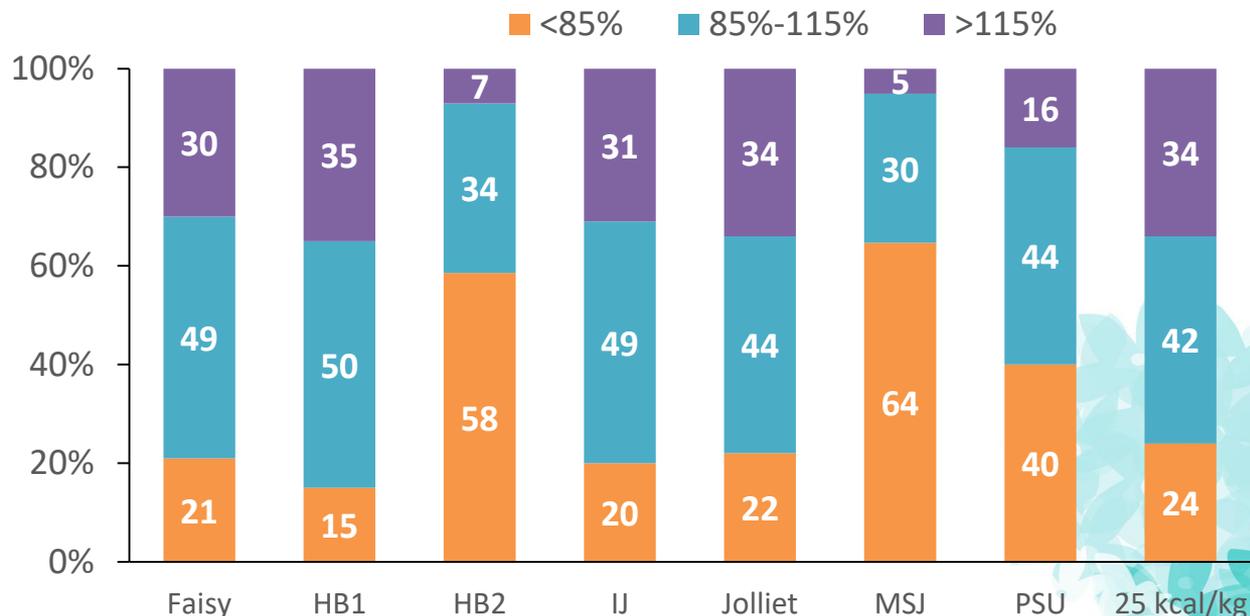
- El 12% de las ecuaciones sobreestimaron las necesidades energéticas entre un 10% y un 66%.
- Un tercio de las ecuaciones subestimó las necesidades de energía entre un 10% y un 41%

El uso de ecuaciones predictivas basadas en el peso corporal puede dar lugar a resultados imprecisos debido a:

- No se tiene en cuenta la masa corporal magra
- Retención de líquidos

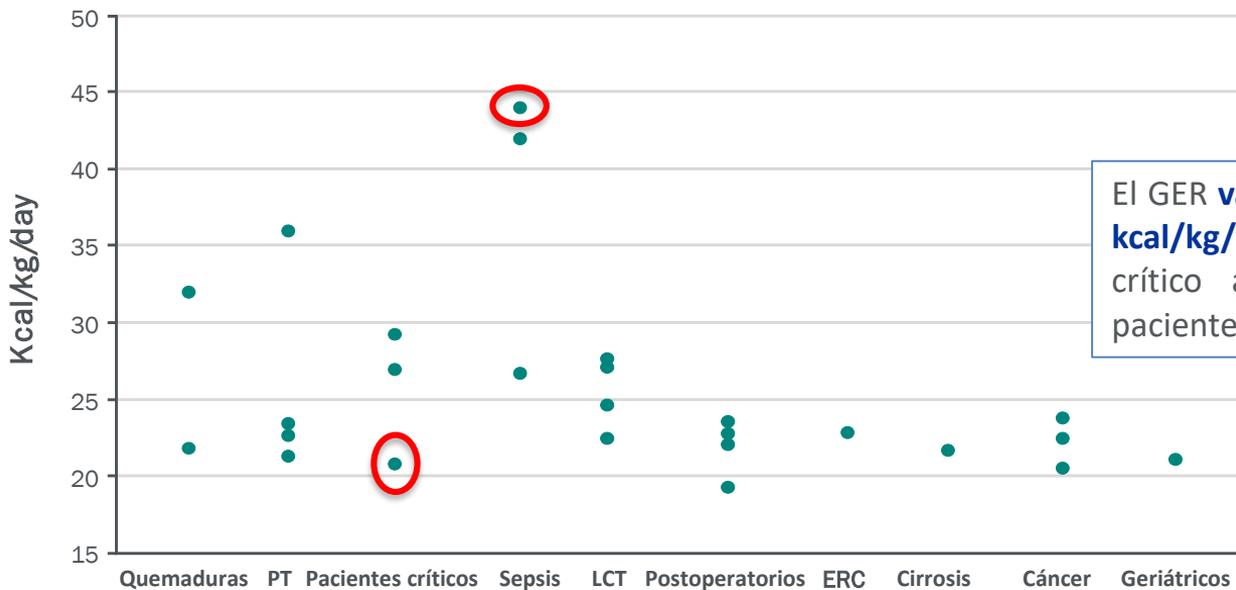
Imprecisión de las ecuaciones predictivas

- Estudio retrospectivo de 1440 pacientes y 3573 mediciones
- El nivel de **precisión** de las ecuaciones predictivas **no superó el 50%** en los pacientes de la UCI, independientemente de la ecuación utilizada
- Se observó una diferencia significativa ($p < 0,001$) entre las **mediciones tempranas y tardías de CI**.



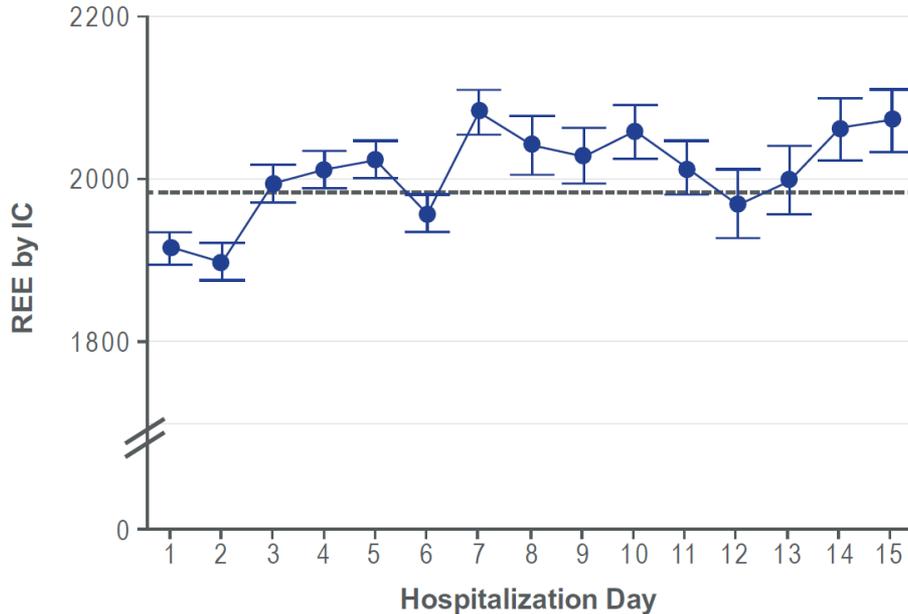
Las ecuaciones predictivas pueden tener un nivel de precisión $\leq 50\%$

Las necesidades de energía de los pacientes varían en función de la patología...



El GER **varía** de aproximadamente **20 kcal/kg/día** en pacientes en estado crítico a casi **45 kcal/kg/día** en pacientes sépticos

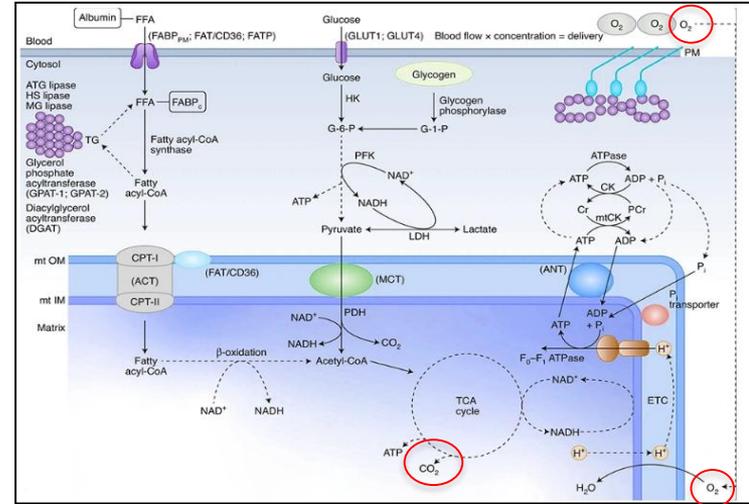
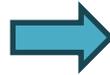
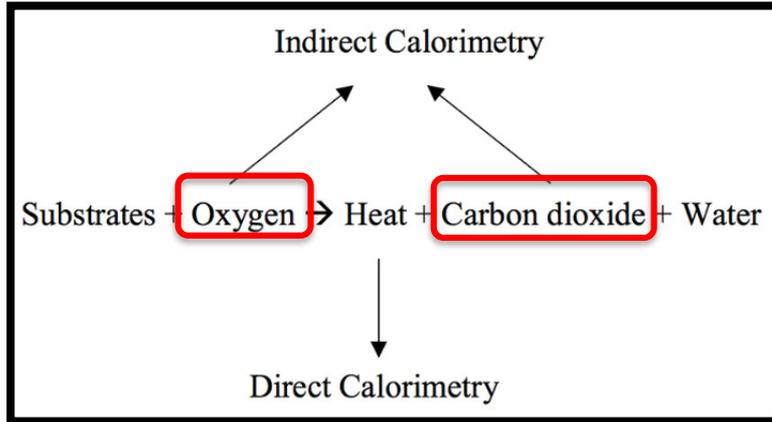
...y también a lo largo de la estancia hospitalaria



Las necesidades de energía de los pacientes **varían a lo largo de la estancia en la UCI y la hospitalización**, y muestran una **tendencia al alza y cambios** a lo largo del tiempo

Gasto energético en reposo y calorimetría indirecta

Fundamento teórico



El consumo de oxígeno (O₂) y la producción de dióxido de carbono (CO₂) están directamente relacionados con la oxidación de los sustratos energéticos y por tanto, con la energía liberada por el metabolismo.

Gasto energético en reposo y calorimetría indirecta

Tipos

1 Calorimetría indirecta circulatoria

Calcula el gasto energético usando la saturación de oxígeno arterial y la saturación de dióxido de carbono de la sangre venosa mixta (obtenida por un catéter en la arteria pulmonar)

Ecuación de Fick

$$GE = GC \times Hb (SaO_2 - SvO_2) \times 95,18$$



Técnica invasiva
Inestabilidad hemodinámica



Alteraciones respiratorias graves

2 Calorimetría indirecta respiratoria

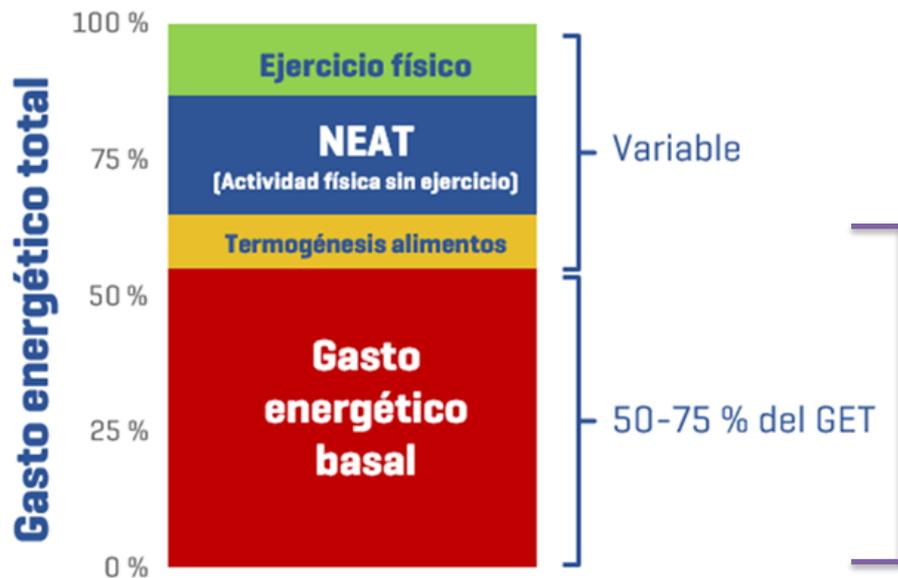
Utiliza el intercambio gaseoso pulmonar, específicamente el consumo de O₂ y la producción CO₂ para calcular el gasto energético.

Ecuación de Weir

$$GE = [(VO_2 \times 3,941) + (VCO_2 \times 1,11) + (2,17 \times NU)] \times 1,44$$



Gasto energético en reposo y calorimetría indirecta



 **GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO**

+90	Gran Quemado (>20% SCT)
+80	
+70	Infección Grave
+60	
+50	Trauma Múltiple
+40	
+30	Normal
+20	
+10	Post operado
—	
-10	Inanición Parcial
-20	

Gasto energético en reposo y calorimetría indirecta

Cociente respiratorio ($RQ=VCO_2/VO_2$)

- Es un índice metabólico derivado de la calorimetría indirecta que informa sobre el tipo de sustrato energético oxidado y la validez de la medición metabólica

Macronutrient		VO_2 (L/g)		VCO_2 (L/g)		Energy (Kcal/g)	CR
Lipids	+	2,00	=	1,40	+	9,0	0,7
Proteins	+	0,96	=	0,78	+	4,0	0,82
Carbohidrates	+	0,74	=	0,74	+	3,7	1,00



RQ	RQ
> 1	Overfeeding, lipogenesis
0,9-1	CH oxidation
0,8 - 0,9	Mixed oxidation
0,7-0,8	Fat oxidation (lipolysis)

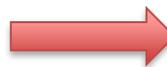
- Identificación fenotipos consumo en función patrón oxidación de sustratos

Gasto energético en reposo y calorimetría indirecta

Cociente respiratorio ($RQ=VCO/VO$)

- Identificación fenotipos consumo en función patrón oxidación de sustratos

	HC	Lípidos	Proteínas
Sepsis CR=0,83	43%	39%	18%



Inflamación
Alt microcirculación
Alt rutas metabólicas
Alt- mitocondrial



El perfil de consumo de sugiere utilización principalmentede HC y lípidos como fuentes energéticas, con una contribución significativa de proteínas, lo que es consistente con el catabolismo proteico acelerado observado en sepsis grave

Gasto energético en reposo y calorimetría indirecta

Cociente respiratorio ($RQ=VCO/V0$)

- Identificación fenotipos consumo en función patrón oxidación de sustratos

	HC	Lipidos	Proteinas
Trauma CR=0,78	21%	55%	24%



Incremento progresivo de aporte calórico evitando infra nutrición
Aporte cauteloso de lípidos
Minimizar el catabolismo proteico.

Patrón es característico de la fase aguda post-trauma, donde **la respuesta hipercatabólica y el estrés metabólico** favorecen la utilización de grasas y proteínas endógenas, especialmente si la provisión de carbohidratos es limitada o la nutrición es insuficiente.

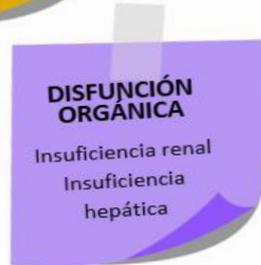
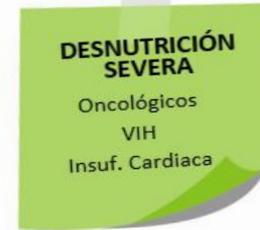
¿Qué paciente puede beneficiarse de CI?



←
**CALORIMETRIA
INDIRECTA**



¿Qué paciente puede beneficiarse de CI?



¿Qué nos aporta la CI?

Precisión

Enfoque personalizado

Dinámico

Pregunta: ¿Cuál es el mejor método para determinar las necesidades de energía del paciente adulto en estado crítico? ²⁶⁻⁴⁰

A3a. Sugerimos la calorimetría indirecta (CI) para determinar las necesidades de energía cuando esté disponible y en ausencia de variables que afecten la exactitud de la medición.

A3b. Con base en el consenso de expertos, en ausencia de CI, sugerimos que una ecuación predictiva publicada o una ecuación simple 25-30 kcal / kg / d) debe ser utilizado para determinar las necesidades de energía. (Véase la sección Q para las recomendaciones de la obesidad)

Aspen Guidelines 2016



- Relacionadas con la ventilación mecánica:
 - $FiO_2 > 70\%$
 - PEEP > 10 cm H₂O
 - Presión máxima en vías respiratorias
 - Fugas de aire en: el circuito del ventilador, el manguito del tubo endotraqueal o en los drenajes torácicos
- Agitación, convulsiones descontroladas, movimientos, temblores
- Sedación o analgesia inestable
- Gases anestésicos/Oxido Nitrico
- Tratamientos:
 - Especial atención a terapias de remplazo renal, soporte hepático y ECMO
 - Algunos fármacos: catecolaminas, sedantes, analgesia, etc
- Cambios recientes (<60mins antes de la CI):
 - Procedimientos invasivos, movilización, ejercicio físico
 - Cambios en T^a corporal ($> 1^{\circ}C$) o pH ($> 0,1$)

¿Qué nos aporta la CI?

Precisión

Enfoque personalizado

Dinámico

3 pacientes diferentes con **las mismas características físicas** y el mismo traumatismo → **tienen necesidades diferentes**

Género: Masculino

Edad: 42 años

Altura: 180 cm

Peso: 75 kg

Diagnóstico:

- Sepsis

Paciente	GER (kcal/d)
A	1500
B	1300
C	1850

	Factor	Efecto sobre el GER	
Fisiológicos	Edad	↓	El envejecimiento reduce la masa magra y el metabolismo basal.
	Sexo	↑ > hombres	Por mayor masa muscular.
	Masa magra / composición corporal	↑	La masa magra es metabólicamente activa.
	Temperatura corporal	↑ ~10–13% por cada °C > 37°C	Fiebre incrementa el metabolismo.
Patológicos	Sepsis / infección	↑	Puede elevar el GER hasta 40–60%.
	Trauma / cirugía mayor	↑	Respuesta hipermetabólica mediada por catecolaminas y cortisol.
	Quemaduras extensas	↑↑	Uno de los estados más hipercatabólicos (hasta +100%).
	Insuficiencia orgánica múltiple	Variable	Puede aumentar o disminuir según fase del shock o fallo multiorgánico.
	Hipoxia / acidosis	Variable	Alteran el metabolismo celular.
Terapéuticos	Ventilación mecánica	↓	Disminuye el trabajo respiratorio.
	Sedación / bloqueo neuromuscular	↓	Reduce el tono muscular y actividad metabólica.
	Catecolaminas	↑	Incrementan el metabolismo celular.
	Antipiréticos / hipotermia terapéutica	↓	Reducen la temperatura corporal y la tasa metabólica.
	Nutrición excesiva (sobrealimentación)	↑	Por el efecto térmico de los nutrientes.
Ambientales	Temperatura ambiental	↑ o ↓	Frío aumenta por termogénesis; calor puede aumentar por termostregulación.



La calorimetría indirecta es la herramienta definitiva para **elaborar planes de nutrición individuales y optimizar el soporte nutricional.**

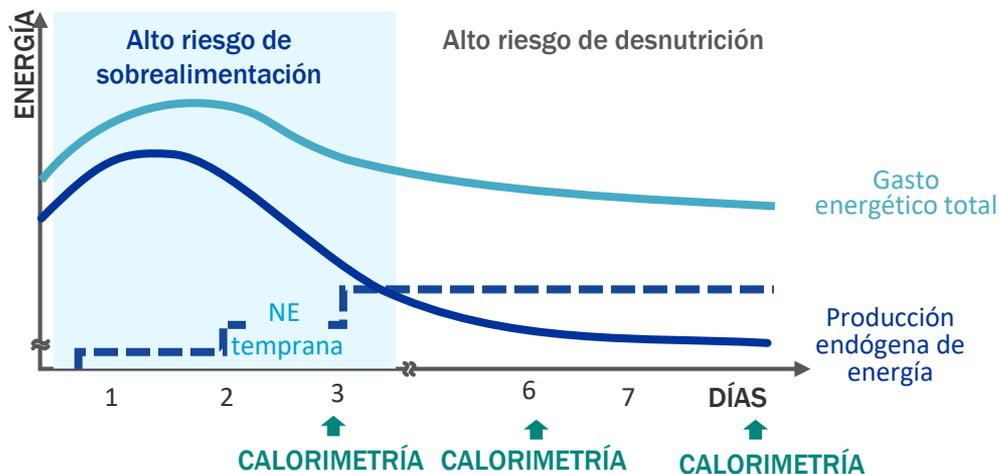
¿Qué nos aporta la CI?

Preciso

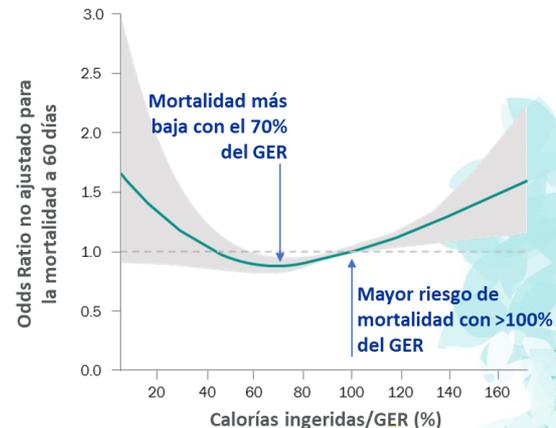
Individualizado / personalizado

Enfoque Dinámico

- La CI debe realizarse cuando el estado clínico del paciente cambia para adaptar la prescripción nutricional a las demandas del estado metabólico alterado del paciente



Relación significativa ($p = 0,008$) entre las calorías administradas/GER y la mortalidad a 60 días



Zusman O et al. *Critical Care*. 2016;20:367.



La CI permite garantizar que **los resultados reflejen las alteraciones metabólicas** que se producen durante la progresión o resolución de la enfermedad

En la práctica.....



Monitores de Calorimetría

Deltatrac II¹



- Muy utilizado en la década de 1990; actualmente descatalogado

MGC: monitores de diagnóstico cardiorrespiratorio Ultima²



- Gran monitor con múltiples funciones
- Utilizado principalmente en la ciencia de la actividad física

CosMed Q-NRG+³



- Portátil, rápido, preciso y de bajo coste
- Para uso en pacientes de UCI con ventilación y respiración espontánea

MGC: Calorímetro indirecto CCM Express



- Pequeño y portátil⁴ pero impreciso⁵
- Integrable con tubo endotraqueal en la UCI⁴

Cardiovit AT-104⁶



- Gran monitor con múltiples funciones
- Utilizado principalmente en la ciencia de la actividad física

GE: Carescape R860⁷



- CI integrada en el respirador, no se puede utilizar con pacientes que no estén conectados al respirador

Korr: ReeVue⁸



- Pequeño y fácil de usar
- Solo para pacientes que pueden usar mascarilla (no en la UCI)

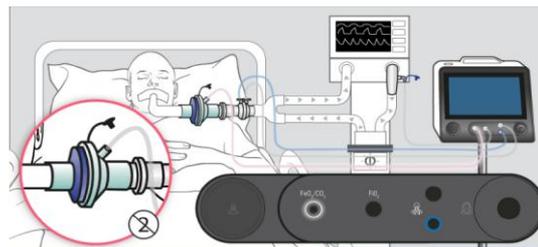
MedGem⁹



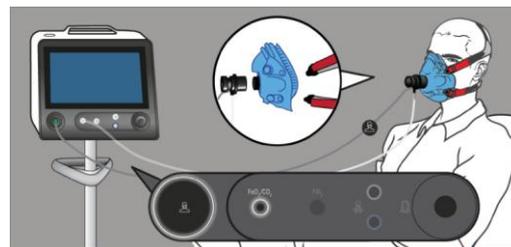
- Portátil; sólo para pacientes que pueden usar boquilla (no en la UCI)



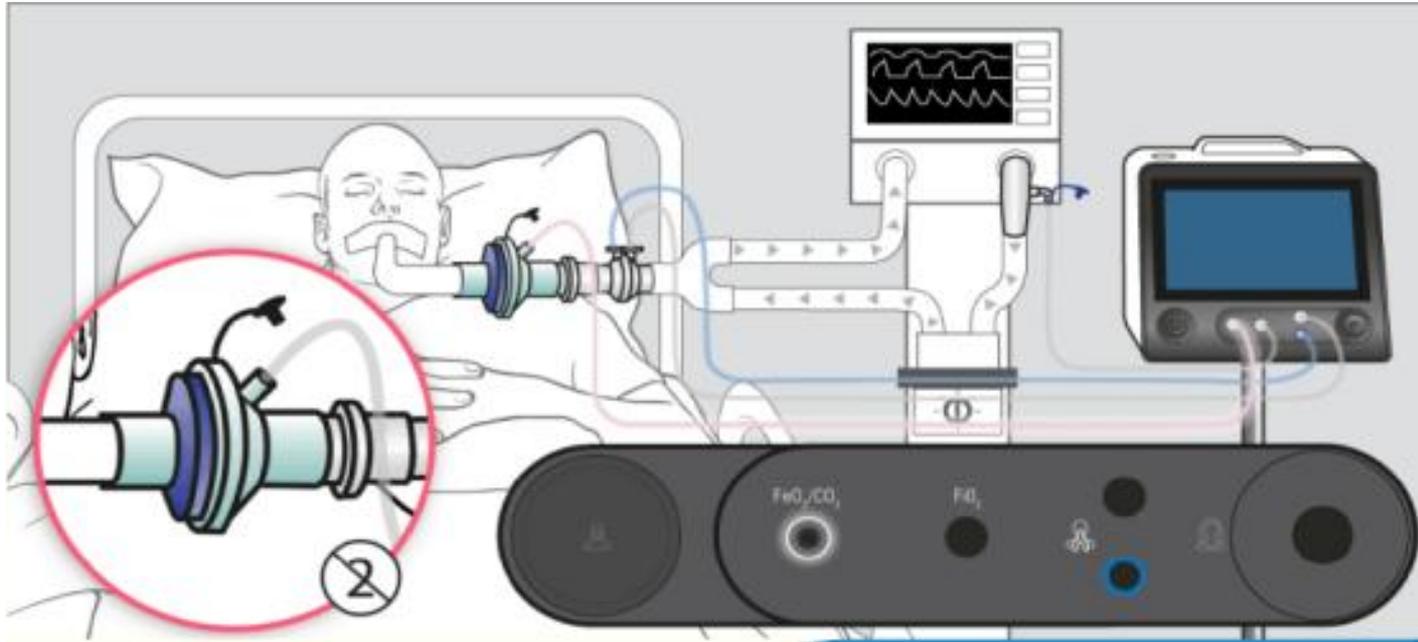
Ventilación mecánica



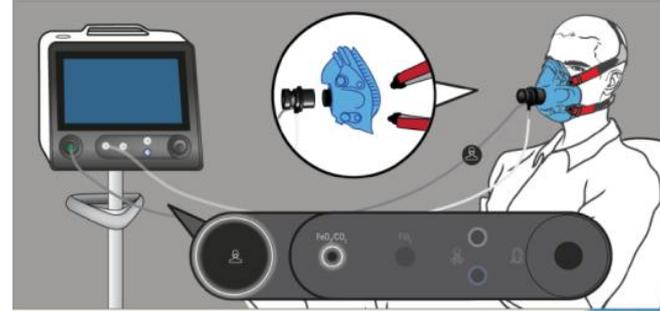
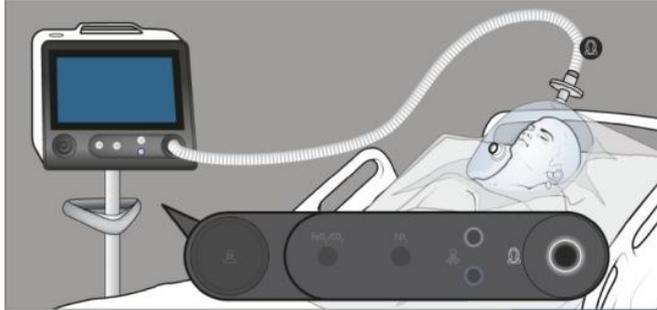
Respiración espontánea



Ventilación mecánica



Respiración espontánea

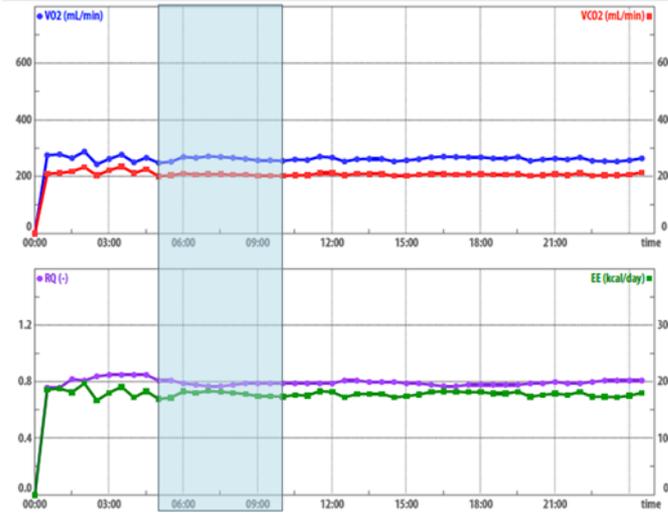


- Los gases exhalados se diluyen dentro de un canopy.
- La medición del flujo de dilución y de las concentraciones de O₂/CO₂ permite calcular el VO₂ y el VCO₂.



Valores Predichos	ID	Género	Edad	Fecha de Nacimiento	Peso	Estatura	BMI (kg/m2)
	Mifflin	3061934	Hombre	24	31/03/1999	69.0 kg	180.0 cm
	Posición del Test	Agitación	Sedación	Temp. corporal (°C)	Periodo de descanso	Periodo de ayuno	UN (g/día)
	Indefinido	N/A	N/A	37	N/A	N/A	17.6

Informe calorimetría indirecta - Test Ventilador



Notas Operador

REE	1778	RQ	0.79
105 %pred	kcal/day	npRQ: 0.77	
V02	262	Vt	399
mL/min		mL	
VCO2	207	Rf	16.0
mL/min		1/min	
Sustratos		FiO2	40.22
FAT	107	CHO	70
(g/día)		PRO	106
(g/día)		(g/día)	
Variabilidad	V02	VCO2	Intervalo medio
3 %	3	1	05:00
			min
		Duración	00:24:30
			min

Datos GE compatibles

Datos respiratorios

Variabilidad <10%

Duración prueba



ID	Género	Edad	Fecha de Nacimiento	Peso	Estatura	BMI (kg/m2)	
[Redacted]	3061934	Hombre	24	31/03/1999	69.0 kg	180.0 cm	
Valores Predichos	Posición del Test	Agitación	Sedación	Temp. corporal (°C)	Período de descanso	Período de ayuno	UN (g/día)
	Mifflin	Indefinido	N/A	N/A	37	N/A	N/A
							17.6

REE	RQ
1778	0.79
105 %pred	npRQ: 0.77
kcal/day	--
Vt	
399	
mL	
VO2	Rf
262	16.0
mL/min	1/min
VCO2	207
Sustratos	FiO2
FAT	40.22
107	%
CHO	
70	
(g/día)	
PRO	Intervalo medio
106	05:00
(g/día)	min
Variabilidad	Duración
VO2	00:24:30
3	min
%	
VCO2	
1	
%	

Calorimetría	
REE	1.778
RQ	.79
N ureico	17
VO2	262
VCO2	207
Hidratos de Carbono	
H. de C. Medicación diario	8
H. de C. Enteral diario	174
H. de C. diario	182
Lípidos	
Lípidos Medicación diario	1
Lípidos Enteral diario	45
Lípidos diario	46
Nitrógeno	
Nitrógeno Enteral diario	10
Nitrógeno diario	10
Proteínas	
Proteínas Enteral diario	64
Proteínas diario	64
Calorías	
Calorías Medicación diario	42
Calorías Enteral diario	1.356
Calorías No Protéicas diario	1.142
Calorías diario	1.399



Aumento NE HP FIBRA
a 1800kcal/día (1,5g
PROT/día)

D15 trauma grave accidente moto: tx ortopédico + shock hemorrágico

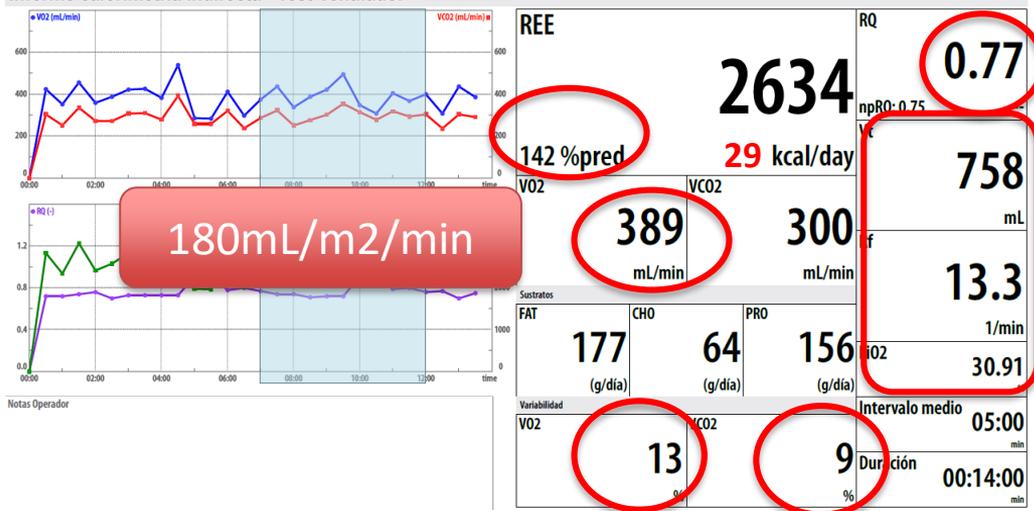
COSMED
Rome - ITALY
www.cosmed.com

Fecha del Test: 13/01/2025 Hora: 11:05

ID: [redacted] Género: Hombre Edad: 22 Fecha de Nacimiento: 20/03/2002 Peso: 90.0 kg Estatura: 170.0 cm BMI (kg/m2): 31.1

Valores Predichos: Mifflin Posición del Test: Indefinido Agitación: N/A Sedación: N/A Temp. corporal (°C): 0 Período de descanso: N/A Período de ayuno: N/A UN (g/día): 25.1

Informe calorimetría indirecta - Test Ventilador



Resultados	Causa probable	
Elevación del VCO ₂ y del CR	Acidosis metabólica Hiperventilación	Hipermetabolismo Excesiva ingesta carbohidratos
Disminución del VCO ₂ y del CR	Alcalosis metabólica Hipometabolismo Inanición / Cetosis Oxidación de etanol	Hipoventilación Hipoalimentación Glucóneogénesis Fuga de aire
Elevación del VO ₂	Sepsis Hipermetabolismo Aumento ventilación/min Escalofríos / agitación / temores	Hemodiálisis (< 4 horas del procedimiento) Sobrealimentación Transfusión sanguínea Hipertermia
Disminución del VO ₂	Hipotermia Parálisis Ayuno / inanición Anestesia general	Hipotiroidismo Sedación profunda Edad avanzada Coma / sueño profundo

Repetir calorimetría

Prescribir aproximadamente el 70% del gasto energético en reposo medido por CI

Evolución diaria

- Fractura metatarsaliana de número izdo, por el momento TTO conservador, pte de iz en 2º tiempo.
- Cirugía COT 3/01 EID: enclavado endomedular retrógrado femoral T2. Cura de heridas de fasciotomías + recambio de VACs. Revisión, limpieza y remodelación del muñón izquierdo.
- Traqueotomía percutánea (10/01).

Situación actual:

- Shock distributivo en evolución. SVA retirado manteniéndose correcta TAM, tendente a la taquicardia sinusal, sin cambios en ECG. Aceptable perfusión distal a nivel de MID, monitorización con INVOS con valores en torno a 50-60%, edema de la misma en mejoría progresiva con respecto a días previos, lactato de 5. Shock hemorrágico/hipovolemico resuelto, actualmente Hb hoy de 7.2 sin exteriorización de sangrado, le transfundimos 1 CH, plaquetas y coagulación en rango, profilaxis de TVP con Bemiparina 3500cc.
- Trauma ortopédico y vascular a nivel de extremidades. Curas regladas por Qx vascular ultima el viernes 10/01, la siguiente mañana. Cura diaria de muñón, limpieza con gasas con Betadine y H2O2. Valorado por traumatología, control seguimiento del cuadro infeccioso y el miercoles revalorar conjuntamente para posibilidad de intervenir el viernes de humero izdo, solicitado además por su parte Tc y RX de pelvis para valorar necesidad de intervención a ese nivel o mantenimiento con fijador externo.
- Cuadro febril mantenido con tº hasta 38.5ºC. Aislados en biopsias de Qx Mucor y Scedosporium spp, por lo que se amplia ATB a P-T y Vanco y se asocia TTO Antifungico dirigido a cultivos con Anfotericina B e Isavuconazol. En AS con leucos de 10500 en descenso, PCT de 6.67 en descenso y PCR de 178.3 en descenso. Enviados cultivos de muñón previo a inicio de TTO Antifúngico y cultivos de herida de EID, pdes de resultado. Se extraen mañana niveles de Isabuconazol y vancomicina, con HC reglados conjuntamente con ello cada 48h.
- FRA AKIN III oligoanurico, secundario a shock +/- rbdomiolisis. Enzimas musculares y AST y ALT ya en descenso, en fase de resolución. Función renal con Cr de 2.21 y U de 119 hoy, se ajustan parametros de TCRR nuevamente a 25 ml/h, diuresis espontanea en las últimas 24h de 0 con balance negativo de 2L. Medio interno y ionograma en rango de normalidad.
- Paciente sedoanalgesiado con pc de dexdor y Ketamina, posible Sd de Abstinencia al Fentanilo por lo que reanudamos a 2 ml/h. Consciente, responde a ordenes sencillas, tranquilo y sin dolor, moviliza bien extremidades superiores (izda limitada por fractura), con movilidad presente aunque limitada de MID, sensibilidad conservada en ambos miembros inferiores, a nivel distal de MID disminuida. Respiratoramente en PC-CSV con PEEP de 6 y Sop de 7, con ello eupneico y correcta mecánica respiratoria a traves de traqueotomía, iniciar desconexiones. En RX de torax ausencia de infiltrados, correctamente aireada. GSA: 7.43, Co2 34, O2 136, HCo3 23.8.
- Abdomen blando y depresible, no doloroso a la palpación superficial ni profunda, RHA de progresión mantenidos. Correcta tolerancia a la NE y realizando deposición.

Conclusiones

CI = Estándar de oro para estimar el GER.
Las ecuaciones predictivas pueden tener un nivel de precisión $\leq 50\%$

Indicada en TODOS los pacientes donde existe un riesgo de error significativos en la estimación de los requerimientos energéticos mediante ecuaciones predictivas.

Los resultados reflejen las alteraciones metabólicas que se producen durante la progresión o resolución de la enfermedad

Permite elaborar planes de nutrición individuales y optimizar el soporte nutricional

Sapere Aude

Reflexión ante nuevos retos



**CONGRESO
NACIONAL**

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
FARMACIA HOSPITALARIA

MÁLAGA 15-17 OCT 25



Sociedad Española
de Farmacia Hospitalaria

Gracias

aegueslu@navarra.es