

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

El presente artículo es una actualización al mes de setiembre del 2006 del Capítulo del Dr. Carlos Lovesio, del Libro Medicina Intensiva, Dr. Carlos Lovesio, Editorial El Ateneo, Buenos Aires (2001)

Los requerimientos nutricionales de un adulto normal que mantiene un peso corporal constante están directamente relacionados con la actividad orgánica y deben cubrir un gasto basal, más el gasto adicional determinado por la actividad, la digestión y la acomodación al ambiente. La enfermedad, la cirugía y la medicación se combinan muchas veces para producir una ingesta inadecuada, para acentuar las pérdidas de las reservas corporales y para alterar las funciones orgánicas, con el consiguiente desarrollo de hiponutrición o de estados específicos de deficiencia.

El aporte dietético recomendado es el nivel de ingreso de nutrientes esenciales que, a juicio de una organización especializada, como el Food and Nutrition Board de Estados Unidos, y sobre la base del conocimiento científico disponible, se considera adecuado para satisfacer las necesidades nutricionales conocidas prácticamente de todas las personas normales.

Los problemas que surgen con la utilización de tales recomendaciones consisten en la falta de datos suficientes respecto de los principios nutritivos requeridos por el hombre, la dificultad para establecer cuándo ha sido satisfecho el requerimiento y el obstáculo de evaluar la absorción y el procesamiento de esos nutrientes *in vivo*. A ello se agregan las diferencias creadas por el tamaño corporal, la actividad física, el clima, la edad y para el caso particular de los pacientes críticos, la enfermedad, la terapéutica y la rehabilitación.

REQUERIMIENTOS DE AGUA

El rango normal de recambio de agua alcanza el 6% del contenido corporal por día en el adulto y el 15% en los infantes.

La existencia de múltiples factores que modifican las pérdidas de agua determina la dificultad para establecer un nivel de ingreso uniforme. En circunstancias normales, una recomendación razonable es 1 ml/kcal para el adulto y 1,5 ml/kcal para el infante. Las necesidades de agua se modifican significativamente en individuos con dietas de alto contenido proteico y en pacientes con fiebre, poliuria, vómitos, insuficiencia renal y fistulas. Como norma general, el volumen basal requerido es de 1.500 ml/m², siendo la cantidad máxima aconsejable por día el doble de la necesidad basal, excepto en condiciones de pérdidas extras.

REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

Cuando los alimentos son metabolizados por el organismo, cierta parte de su energía se convierte en calor, otra parte es utilizada para realizar trabajo y el resto se almacena. El trabajo no solamente representa la actividad física del movimiento muscular sino también el necesario para modificar las uniones químicas en el organismo. Cuando el ingreso energético excede al gasto

energético (calor + trabajo), se almacena energía, con el resultante aumento de peso. Cuando el gasto energético supera al ingreso, las sustancias del organismo proveen el déficit y se produce una pérdida neta de peso.

El índice metabólico o gasto energético es una medida del calor perdido por el organismo. La conversión de la energía potencial en trabajo útil en los sistemas biológicos es un proceso intrínsecamente ineficiente, asociado con una pérdida de parte de la energía como calor. Por lo tanto, el gasto energético debe ser considerado como una medida indirecta de la actividad fisicoquímica o metabólica total.

El gasto energético total de un individuo es la suma de la energía empleada en su metabolismo basal, la termogénesis y la actividad física. La energía que se consume en estado de reposo en condiciones basales constituye el metabolismo basal. Este estado basal se caracteriza como la situación de reposo físico y mental, después del despertar, en situación termoestable y tras 12 horas de la última ingesta. Varía según la talla y la superficie corporal.

La termogénesis se define como las necesidades energéticas por encima del metabolismo basal en estado de reposo. En ella se incluyen los efectos de la ingesta de alimentos y de la exposición al frío, a agentes termogénicos y a todos los factores que aumentan las demandas energéticas, como la fiebre, los traumatismos y la sepsis.

Los métodos que se pueden utilizar para conocer el gasto energético son la calorimetría, los marcadores isotópicos y el cálculo a través del principio de Fick.

Calorimetría

La calorimetría se fundamenta en el hecho de que en el organismo existe un equilibrio entre la producción de calor y su eliminación. La medición directa de la eliminación del calor disipado por un organismo empleando cámaras termoneutras, denominada calorimetría directa, no es práctica para ser realizada en la clínica.

Dado que más del 95% de la energía consumida en el cuerpo es derivada de la reacción entre el oxígeno con los diferentes alimentos o combustibles, la tasa metabólica también puede ser calculada con un alto grado de precisión a partir de la tasa de utilización de oxígeno y de producción de dióxido de carbono, producto final de la combustión de los alimentos, metodología que se ha denominado calorimetría indirecta.

La calorimetría indirecta comprende la medida de la diferencia entre los volúmenes inspirado y espirado de gases para determinar la cantidad de oxígeno consumido y de dióxido de carbono producido. Tiene la ventaja de no ser invasiva y puede ser utilizada para realizar mediciones continuas. Su desventaja fundamental es que requiere de un equipo complejo para medir las concentraciones y volúmenes gaseosos. Las determinaciones realizadas a elevadas concentraciones de oxígeno, así como en los pacientes en asistencia respiratoria mecánica, plantean problemas especiales que deben ser considerados.

La espirometría y el intercambio gaseoso pueden realizarse utilizando circuitos cerrados, abiertos o mixtos. Se debe tener en cuenta que múltiples factores pueden afectar estas

determinaciones, por lo cual la calibración y convalidación deben ser realizadas a intervalos regulares. La medida del consumo de oxígeno (VO_2) y de la producción de dióxido de carbono (VCO_2) requiere mucha precisión, ya que pequeños errores en la técnica pueden determinar cambios significativos en los resultados finales. De los dispositivos actualmente en uso, el Deltatrac® de Datex ha sido validado por varios grupos de investigadores, y los resultados indican que el VO_2 puede ser medido con un error relativo de menos del 5% cuando la FiO_2 es de 0,6 o menos. A los efectos de lograr esta exactitud, debe ser estrictamente mantenida la estabilidad de la FiO_2 . La mayor limitación para su empleo corriente es su elevado costo.

Para la realización de la calorimetría indirecta se han diseñado dos tipos de técnicas. En la técnica de circuito cerrado se hace respirar al paciente en un volumen conocido de oxígeno, el dióxido de carbono es absorbido constantemente y se mide el descenso del volumen de gas del sistema, que supone el consumo de oxígeno. Con esta técnica no se determina la producción de CO_2 , y por lo tanto, se supone un cociente respiratorio. En las técnicas de circuito abierto el paciente inspira de un gas conocido y se recoge el gas espirado. Determinándose el VO_2 y el VCO_2 , se puede obtener el gasto energético diario a través de la siguiente fórmula, deducida por Weir:

$$GE = 1,44 \times [(3,9 VO_2 + 1,1 VCO_2) - 2,17 NUU]$$

donde:

GE: gasto energético en Kcal/día

VO_2 : consumo de oxígeno en ml/min

VCO_2 : producción de dióxido de carbono en ml/min

NUU: nitrógeno ureico urinario en g/día

La determinación del gasto energético por la ecuación precedente requiere la obtención de VO_2 , VCO_2 y una adecuada medida de la excreción del nitrógeno no proteico urinario. Se sabe que los errores de hasta el 100% en la medida de este último tienen un efecto despreciable (1 a 2%) sobre el cálculo del gasto energético, por lo cual esta determinación no es estrictamente necesaria para establecer el gasto energético, aún en los pacientes críticos con excreciones elevadas y variables de nitrógeno.

En la Tabla 1 se indican recomendaciones útiles destinadas a mejorar la exactitud de la calorimetría indirecta (Moreira da Rocha y col.)

Tabla 1.- Recomendaciones para mejorar la exactitud de la calorimetría indirecta

- Los pacientes deben encontrarse en reposo en posición supina por más de 30 minutos antes del estudio para evitar los efectos de la actividad voluntaria sobre el REE (gasto energético en reposo)
- Los pacientes que reciben alimentación intermitente, por vía enteral o parenteral, deben ser estudiados aproximadamente 12 horas después de la alimentación si la termogénesis se incluye en el REE o 4 horas luego de la alimentación si no se incluye

- La tasa y composición de nutrientes infundidos en forma continua deben ser estables por al menos 12 horas antes y durante el estudio
- Las mediciones deben ser realizadas en un ambiente quieto y termoneutro
- Todas las fuentes de oxígeno suplementario deben ser retiradas durante las mediciones de rutina, si es posible
- La fracción de oxígeno inspirado (FIO₂) debe ser constante durante las determinaciones
- El estudio debe ser demorado por 90 minutos si se requieren cambios en la estrategia ventilatoria
- El paciente debe mantener su patente usual de actividad muscular durante el estudio
- No debe haber pérdidas en el sistema de toma de muestras
- Todos los datos utilizados para derivar el REE y el cociente respiratorio deben ser tomados durante un periodo de equilibrio que debe ser identificado de acuerdo a guías bien definidas
- El paciente no debe recibir anestesia dentro de las 6 a 8 horas previas al estudio
- Si el paciente tiene dolor o está agitado, se deben administrar analgésicos o sedantes por al menos 30 minutos antes del estudio, siempre que sea posible clínicamente
- El estudio debe demorarse de 3 a 4 horas luego de la hemodiálisis
- El estudio debe ser demorado una hora luego de realizar algún procedimiento que produzca dolor
- Los cuidados de rutina de enfermería u otras actividades sobre el paciente deben ser evitados durante el estudio

Existe un sistema modular compacto nuevo para la evaluación metabólica, el M-COVX, muy conveniente para los pacientes en terapia intensiva, que también provee una medida completa del gasto energético y cálculos metabólicos adecuados; sin embargo, se debe integrar a un sistema de monitorio en UTI y tiene un error de las mediciones del 5 al 6% comparado con el Deltatrac. Otro dispositivo manual reciente para la calorimetría indirecta es el MedGem, que ha sido validado en varias instancias clínicas; sin embargo, debido a sus características técnicas sólo puede ser utilizado para pacientes ambulatorios, en particular para establecer el monitoreo de los pacientes con enfermedades caquetizantes o que se encuentran en protocolos nutricionales.

Técnica radioisotópica

Los isótopos marcados, concretamente el agua-deuterio, permiten el cálculo del gasto energético. Esta técnica se basa en que las moléculas de oxígeno en el agua corporal y en el CO₂ espirado están en equilibrio isotópico. Después de una dosis de agua marcada el O¹⁸ es eliminado

como agua y CO₂, mientras que el deuterio es eliminado sólo como agua. La diferencia entre la eliminación de cada isótopo es por tanto proporcional a la producción de CO₂ y, por ende, al gasto energético.

Utilización del principio de Fick

El consumo de oxígeno y la producción de anhídrido carbónico se pueden determinar en clínica utilizando el principio de Fick. Para su obtención se utiliza la siguiente versión de la ecuación de Fick:

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 &= (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2) \times \text{VMC} \times 10 \\ \text{VCO}_2 &= (\text{CvCO}_2 - \text{CaCO}_2) \times \text{VMC} \times 10 \end{aligned}$$

donde:

- VO₂: consumo de oxígeno
- VCO₂: producción de dióxido de carbono
- CaO₂: contenido arterial de oxígeno
- CvO₂: contenido venoso de oxígeno
- CaCO₂: contenido arterial de dióxido de carbono
- CvCO₂: contenido venoso de dióxido de carbono
- VMC: volumen minuto cardíaco

Este método requiere la utilización de un catéter en la arteria pulmonar para la determinación del volumen minuto cardíaco y la obtención de una muestra de sangre venosa mezclada. Además, es preferible tener un catéter arterial para obtener las muestras de sangre arterial.

La ventaja del método es que muchos pacientes en terapia intensiva tienen colocado un catéter en la arteria pulmonar y se medirá el volumen minuto cardíaco mediante termodilución. Al mismo tiempo, se pueden calcular los valores de contenido arterial de oxígeno a partir de la saturación de la hemoglobina y de la PaO₂, de acuerdo con la fórmula $\text{CaO}_2 = [(\text{Hb} \times 1,39 \times \text{SatO}_2 \%) + (\text{PaO}_2 \times 0,003)]$, y similar para el contenido venoso.

La determinación de VCO₂ por termodilución se deriva de cálculos muy complejos del contenido total de CO₂ de la sangre. Es muy difícil obtener un cálculo adecuado del mismo a partir de la diferencia venoarterial de contenido de CO₂ y del volumen minuto cardíaco.

Teniendo presente las consideraciones precedentes, muchos autores aceptan como válida la determinación del gasto energético diario a partir de la fórmula: $\text{GE kcal/día} = \text{VO}_2 \times 4,838 \times 1,44$; donde 4,838 kcal/l es el valor calórico del oxígeno para un cociente respiratorio no proteico de 0,827; y 1,44 es el factor de conversión a kcal/día. Conviene utilizar el promedio de un grupo de valores de VO₂ obtenidos a través de las 24 horas para tener una buena estimación del gasto energético diario. Utilizando la fórmula precedente, no es necesario determinar el VCO₂ ni la excreción de nitrógeno no proteico urinario. En cambio, tales determinaciones son necesarias para

estimar el grado de oxidación de grasas y carbohidratos, y en tal caso deberán obtenerse a través de calorimetría indirecta.

La mayoría de los autores han encontrado una relación satisfactoria entre el VO₂ determinado por el principio de Fick y el obtenido por calorimetría indirecta, si bien los datos de esta última generalmente son algo mayores que los obtenidos por termodilución. Se debe tener en cuenta, por otra parte, que la fórmula de Fick no toma en cuenta el oxígeno consumido por el pulmón, el cual puede representar hasta el 20% del consumo total en presencia de infecciones u otros procesos pulmonares.

Estimación del gasto energético

En la mayoría de las situaciones clínicas no se realiza la determinación directa del gasto energético por los métodos precedentes, sino que se estima o se predice utilizando alguna de las fórmulas derivadas de múltiples determinaciones. La fórmula más utilizada para predecir el gasto energético en reposo es la ecuación de Harris-Benedict, aunque también se dispone de otras.

$$\text{GER(hombre)} = 66,47 + 13,75 \times P + 5,0 \times A - 6,76 \times E$$

$$\text{GER(mujer)} = 655,1 + 9,56 \times P + 1,85 \times A - 4,68 \times E$$

$$\text{GER(niños)} = 22,10 + 31,05 \times P + 1,16 \times A$$

donde: P: peso, A: altura, E: edad

Si se determina el gasto metabólico de un paciente lesionado bajo condiciones basales, se comprueba que suele ser mayor que el gasto metabólico predicho con las fórmulas precedentes. El grado de aumento es proporcional a la gravedad de la injuria, que a su vez parece relacionarse con la cantidad de tejido lesionado (Tabla 2).

Tabla 2. Efectos de la injuria sobre el gasto metabólico

Injuria	Aumento de la actividad metabólica %	Factor estrés
Cirugía electiva	0-5	1,0-1,05
Peritonitis	5-25	1,05-1,25
Fractura de huesos largos	15-30	1,15-1,30
Traumatismos múltiples	30-55	1,30-1,55
Injuria cerebral	30-50	1,30-1,50
Traumatismo y sepsis	50-75	1,50-1,75
Quemaduras		
10%	25	1,25
30%	70	1,70
50%	100	2,00
75%	100-110	2,0-2,10

Cálculo de la utilización diferencial de sustratos

La estimación de la cantidad de combustible a través de calorimetría indirecta se basa en el concepto de cociente respiratorio.

La combustión de cada nutriente conlleva una proporción constante de consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono. De ahí ha resultado el denominado cociente respiratorio (RQ), que es la relación entre la producción de dióxido de carbono (VCO_2) y el consumo de oxígeno (VO_2). Se ha encontrado que para los carbohidratos el RQ es de 1,00, para las grasas de 0,7 y para las proteínas de 0,8.

Si se mide el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, y se establece el cociente respiratorio, se puede determinar el combustible que está siendo usado de preferencia por el organismo; si es de 0,7 el consumo será de grasas; si es de 0,8 será de proteínas; si es de 1,0 será de carbohidratos.

Este cociente respiratorio puede ser aún más específico si se determina el cociente respiratorio no proteico. En efecto, la proteína empleada como combustible es convertida primero a glucosa y el nitrógeno residual a urea que se excreta en la orina.

La medición del nitrógeno ureico urinario (NUU) permite calcular la cantidad de proteínas oxidadas, así como la cantidad de dióxido de carbono producido y oxígeno consumido que origina la oxidación de esa proteína. Si se descuenta de la producción total de dióxido de carbono y del consumo total de oxígeno lo correspondiente a la proteína, se puede obtener el cociente respiratorio no proteico (RQnp). Así, y utilizando ecuaciones de regresión, con el RQnp se puede determinar empíricamente la cantidad de sustratos utilizados a través de tablas como la de Lusk o de ecuaciones.

Utilizando los valores de VCO_2 , VO_2 y CRnp se pueden confeccionar una serie de ecuaciones, distintas para los estados de ayuno, postabsortivo, exceso de aporte nutricional y deficiencia energética, que permiten establecer el consumo de cada sustrato.

Estado de ayuno:

$$\text{Carbohidratos (g/min)} = -2,91 \times \text{VO}_2 + 4,12 \times \text{VCO}_2 - 2,56 \text{ NUU}$$

$$\text{Grasas (g/min)} = 1,69 \times \text{VO}_2 - 1,69 \times \text{VCO}_2 - 1,94 \text{ NUU}$$

$$\text{Proteínas (g/min)} = 6,25 \text{ NUU}$$

Estado postabsortivo:

$$\text{GE} = 5,083 \times \text{VO}_2 - 0,138 \times \text{VCO}_2 - 0,128 \text{ NUU}$$

$$\text{Carbohidratos (g/min)} = -2,854 \times \text{VO}_2 + 4,06 \times \text{VCO}_2 + 2,468 \text{ NUU}$$

$$\text{Grasas (g/min)} = 1,805 \times (\text{VO}_2 - \text{VCO}_2) - 1,618 \text{ NUU}$$

$$\text{Proteínas (g/min)} = 6,25 \text{ NUU}$$

Exceso energético:

$$\text{GE} = 3,88 \times \text{VO}_2 + 1,16 \times \text{VCO}_2 - 2,09 \text{ NUU}$$

$$\text{Carbohidratos (g/min)} = 1,36 \times \text{VO}_2 - 0,16 \times \text{VCO}_2 - 7,47 \text{ NUU}$$

$$\text{Grasas (síntesis)} = -1,67 \times \text{VO}_2 + 1,67 \times \text{VCO}_2 + 2,0 \text{ NUU}$$

$$\text{Proteínas} = 6,25 \text{ NUU}$$

Déficit energético:

$$\text{GE} = 4,36 \times \text{VO}_2 + 0,45 \times \text{VCO}_2 - 1,57 \text{ NUU}$$

$$\text{Cuerpos cetónicos} = 2,54 \times \text{VO}_2 - 3,59 \times \text{VCO}_2 + 2,05 \text{ NUU}$$

$$\text{Grasas} = 0,70 \times \text{VCO}_2 - 3,39 \text{ NUU}$$

$$\text{Proteínas} = 6,25 \text{ NUU}$$

donde: GE: gasto energético en kcal/min

VO₂: consumo de oxígeno en litros/min

VCO₂: producción de dióxido de carbono en litros/min

NUU: nitrógeno urinario en g/min

REQUERIMIENTOS PROTEICOS

Los adultos sanos bien nutridos cuyos requerimientos energéticos son satisfechos con fuentes exógenas presentan una pérdida continua de proteínas y de nitrógeno. Esta pérdida obligatoria de proteínas se atribuye al recambio resultante de la síntesis y degradación de las proteínas del organismo. En efecto, parte de los aminoácidos liberados por el catabolismo proteico se usan para resintetizar nueva proteína, y el resto se utilizan como combustibles y para sintetizar glucosa en el proceso de neoglucogénesis; en ambos casos queda un residuo nitrogenado con el cual se forma urea que se excreta por la orina o se acumula en el organismo. En individuos normales con dieta habitual, alrededor del 80% del nitrógeno total urinario (NTU) corresponde al nitrógeno de la urea urinaria (NUU); este porcentaje varía en función del grado de catabolismo proteico y de la cantidad de proteína ingerida. En los pacientes injuriados o sépticos la pérdida urinaria de nitrógeno es proporcional al grado de catabolismo proteico.

Los métodos para medir el NTU son los de Kjeldahl y de piroquimioluminiscencia. Dado que no siempre están disponibles en la práctica diaria, lo habitual es estimar el NTU a partir del NUU de la siguiente manera:

- a) Cálculo de la urea urinaria (UU) de 24 horas; para ello se multiplica el dosaje de urea urinaria en gramos/litro, por la diuresis de 24 horas en litros.



- b) Cálculo del NUU: se multiplica la urea urinaria de 24 horas por 0,467, que es el factor de conversión de urea a nitrógeno de la urea.
- c) Cálculo del NTU: al nitrógeno de la urea urinaria (NUU) se le suma un factor fijo de dos gramos o variable del 20% del NUU, el cual corresponde a la fracción no ureica del nitrógeno urinario: creatinina, amonio, ácido úrico, etc. En los pacientes críticos, la proporción del nitrógeno no ureico es muy variable, por lo cual se aconseja medir el NTU en vez de estimarlo a partir del NUU. Recientemente, Perman y col. evaluaron los valores precedentes en un grupo de pacientes críticos en UTI, comprobando que el valor de NUU fue de $12,37 \pm 6,81$ gr/N/día, y el NTU de $16,02 \pm 7,84$ gr/N/día, siendo la ecuación de regresión para estimar el NTU a partir del NUU de $NTU = (NUU \times 1,10) + 2,35$.

Mediante el cálculo del balance de nitrógeno (ingresos menos egresos de nitrógeno durante un período determinado) se puede estimar el cambio neto de la masa proteica corporal, basado en la premisa de que casi todo el nitrógeno se incorpora a la proteína y que ésta contiene un 16 % de nitrógeno. La fórmula simplificada utilizada para el cálculo es:

Ingreso de nitrógeno = gramos de proteínas orales o enterales y aminoácidos endovenosos divididos por 6,25

Egreso urinario = NTU medido o estimado [$NTU = (NUU \times 1,10) + 2,35$] + nitrógeno fecal = 1,5 a 2 gr/día + nitrógeno de otras fuentes = 7 mg/kg/día en el hombre y 8 mg/kg/día en la mujer.

En base a las pérdidas precedentes, el aporte diario recomendado para un adulto se expresa en la Tabla 4.

Tabla 4.- Requerimientos diarios de nitrógeno y proteínas

Dosis recomendada	g proteína/kg/día	g Nitrógeno/kg/día
Dosis mínima por día	0,45	0,072
Dosis basal recomendada	0,8	0,128
Dosis para stress mínimo	1,25	0,200
Dosis para stress moderado	1,5	0,240
Dosis para stress severo	1,75-2,0	0,280-0,320

Se debe recordar que las dosis por día se expresan en gramos de proteínas, y que los preparados comerciales suelen indicar el contenido en gramos de nitrógeno, por lo que es necesario conocer que 6,25 g de proteínas o aminoácidos equivalen a 1 gramo de nitrógeno.

Un hecho importante para la correcta utilización de los aminoácidos administrados es que exista una adecuada relación entre la cantidad de nitrógeno y la cantidad de calorías no proteicas aportadas. Debe mantenerse una relación entre 120-160 kcal no proteicas por cada gramo de nitrógeno. Esta proporción puede ser modificada en la insuficiencia renal y hepática, donde es necesario reducir el aporte proteico. También se debe modificar en el stress, en donde puede ser



necesario llegar a valores de 80-100:1, particularmente en los pacientes hipermetabólicos o con sepsis grave.

Se debe tener en cuenta, por fin, que nueve de los aminoácidos derivados de las proteínas son esenciales para el hombre, es decir que deben ser aportados en forma exógena, ya que no existe síntesis endógena. Dichos aminoácidos son la histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina-cistina, fenilalanina-tirosina, trionina, triptofano y valina. Varios estudios recientes han demostrado que la glutamina puede ser un aminoácido potencialmente esencial durante los procesos críticos, particularmente en cuanto al soporte de los requerimientos metabólicos de la mucosa intestinal. En general, estos estudios demuestran que la glutamina de la dieta no es requerida durante los estados de buena salud, pero podría ser beneficioso su empleo en circunstancias de hipermetabolismo, sepsis e injuria.

REQUERIMIENTOS DE ELECTROLITOS

La importancia del reemplazo de líquidos y electrolitos para promover la perfusión tisular y el equilibrio iónico es evidente. Los procesos de malnutrición y de renutrición se asocian con cambios importantes en el equilibrio hidroelectrolítico. Durante la malnutrición existe una pérdida de iones intracelulares de potasio, magnesio y fósforo, con una ganancia de sodio y de agua. Por lo tanto, a los efectos de mantener un adecuado equilibrio durante la nutrición es necesario aportar potasio, magnesio y fósforo suplementarios, admitiendo la existencia de un balance positivo obligado de agua y de sodio. Este proceso se ha denominado “edema de renutrición” y mejora en forma concomitante con el estado nutricional. En la Tabla 5 se indican las recomendaciones del empleo de electrolitos.

Tabla 5. Empleo recomendado de electrolitos

Electrolito	Dosis recomendada	Observaciones
Sodio	1,4-2 mEq/kg/día	Aumentar en presencia de pérdidas digestivas. Disminuir en ancianos e insuficientes cardíacos.
Potasio	1,2-1,5 mEq/kg/día	Disminuir en insuficiencia renal. Aumentar en períodos de anabolismo o en presencia de pérdidas extras
Magnesio	300-350 mg/día	Aumentar en presencia de pérdidas digestivas
Calcio	800 mg/día	Aumentar en embarazo, lactancia y en la niñez
Fósforo	7-10 mmol por cada 1000 kcal	Aumentar cuando se aporta solamente glucosa

REQUERIMIENTOS VITAMÍNICOS

Las vitaminas participan en el metabolismo de la degradación e interconversión de proteínas y aminoácidos. También intervienen en la extracción de energía de los carbohidratos y grasas para cumplir fines anabólicos tales como la síntesis tisular y la formación de hueso. En la Tabla 6 se indican una serie de causas predisponentes para el desarrollo de una carencia de vitaminas. En la Fig. 1 se indica una clasificación de las vitaminas. En la Tabla 7 se resumen las características de ciertas vitaminas, y en la Tabla 8, las recomendaciones existentes con respecto a su administración.

Tabla 6. Factores predisponentes de carencias vitamínicas

Enfermedades durante el embarazo	Edad avanzada, internación en guarderías
Infección de evolución prolongada (HIV)	Tratamientos prolongados con drogas
Alcoholismo, drogadicción	Malabsorción, fistulas digestivas
Dietas y regímenes inadecuados	Operaciones: gastrectomía, pancreatectomía

La dosis diaria de vitaminas se debe administrar en la bolsa de nutrición parenteral. Existen vitaminas que no se pueden mezclar en la bolsa y, por lo tanto, se darán aparte. Ellas son la vitamina K1, que se administrará en dosis de 10 mg una vez por semana; la hidroxicoalamina (B12), que en dosis de 500 mcg se administrará al inicio de la nutrición parenteral y luego cada tres semanas; y el ácido fólico, que se administrará en dosis de 5 a 10 mg dos veces por semana.

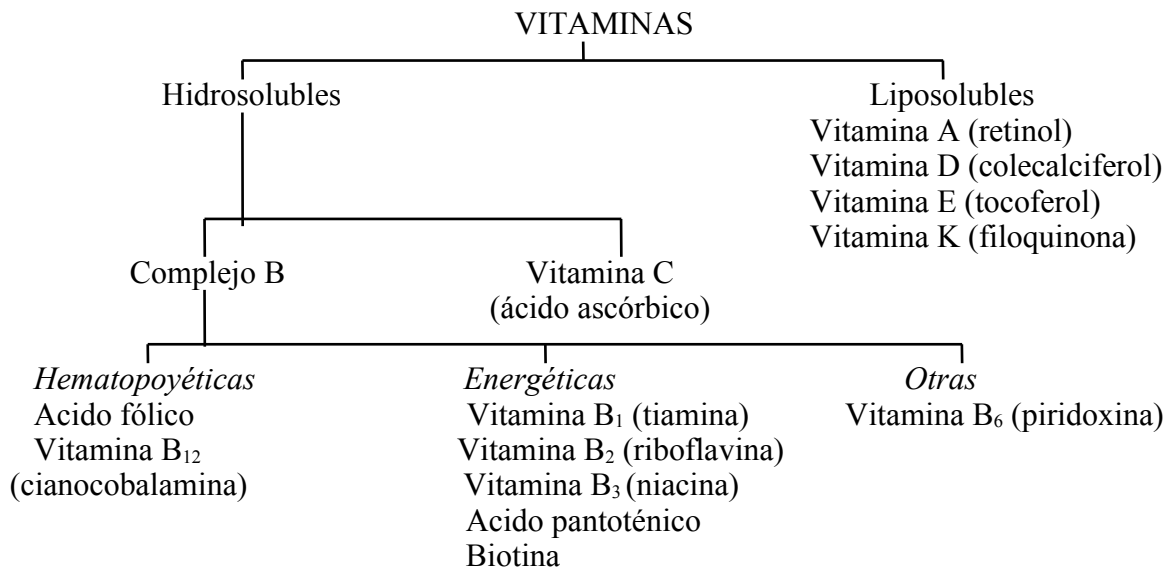


Fig. 1. Clasificación de las vitaminas.

Tabla 7. Funciones biológicas de las vitaminas

Vitamina	Función biológica	Síntomas deficitarios
A (retinol)	Visión, estabilización de la membrana celular	Trastornos visuales, queratomalacia
D (calciferol)	Formación de hueso, absorción de calcio en el intestino	Raquitismo, osteomalacia
E (tocoferol)	Antioxidante primario	Debilidad muscular, hemólisis
K	Síntesis de factores de coagulación	Hemorragias
B1 (tiamina)	Metabolismo de cetoácidos	Beriberi, anorexia, ataxia, depresión, letargia, insuficiencia cardíaca
B2 (riboflavina)	Sistema oxidativo enzimático	Crecimiento insuficiente. Alopecia
Niacina	Transporte celular de coenzimas	Debilidad, dermatitis, demencia, diarrea
B3 (ácido pantoténico)	Componente de la CoA	Fatiga, debilidad
B6 (piridoxina)	Coenzima metabólica	Dermatitis, glositis, linfopenia
Acido fólico	Síntesis de ARN y ADN	Anemia megaloblástica
B12 (cianocobalamina)	Síntesis de ADN	Anemia megaloblástica, alteración propioceptiva
C (ácido ascórbico)	Coenzima celular	Hemorragias, edemas, caídas dentarias

Tabla 8. Requerimientos diarios de vitaminas y su aporte

Vitamina	Dosis diaria en pacientes críticos		Polivitamínico Visineral (10 ml)
	Enteral	Parenteral	
A (UI)	25000 U	10000 U	10000 U
Tiamina (B ₁)	15-20 mg	10 mg	50 mg
Riboflavina (B ₂)	10 mg	10 mg	10 mg
Niacina (B ₃)	200 mg	200 mg	
Acido ascórbico (C)	2000 mg	2000 mg	500 mg
Nicotinamida (B ₅)	35 mg		30 mg
Vitamina D (UI)	400 U	200 U	1000 U
Piridoxina (B ₆)	20 mg	20 mg	15 mg
Vitamina E	400-1000 mg	No disponible	-
Cianocobalamina (B ₁₂)	20 mcg	20 mcg	-
Acido fólico	2 mg	2 mg	
Vitamina K	1,5 µg/kg/día	5 mg	

REQUERIMIENTOS DE OLIGOELEMENTOS

Los microminerales, también referidos como elementos en traza, se encuentran en menos de una parte por millón de peso corporal. Los micronutrientes esenciales incluyen hierro, zinc, cobre, selenio, yodo, manganeso, molibdeno, cobalto, níquel y silicio. Los micronutrientes que no

son esenciales incluyen el arsénico, cromo, flúor y vanadio. En la Tabla 9 se indican la función y dosis de algunos microminerales.

Tabla 9. Función, evaluación y dosis de los principales oligoelementos

Mineral	Función metabólica	Cofactor para enzimas	Evaluación	Dosis
Cromo	Uso de glucosa e insulina; potencia la acción de la insulina	No	Valor plasmático	200 mg
Cobalto	Requerido para la síntesis de Vit B12	No	No	
Cobre*	Desarrollo de tejido conectivo Empleo del hierro Para ceruloplasmina	Oxidasa, incluyendo citocromooxidasa, superoxidodismutasa	Ceruloplasmina plasmática	2-3 mg
Iodo	Hormonas tiroideas		Iodo plasmático	
Hierro	Para Hb y transporte de oxígeno Transferencia electrónica	Enzimas del hem Citocromo peroxidasa Catalasa	Hierro plasmático, transferrina, ferritina	10 mg
Manganeso*	Formación de procolágeno Función cerebral Función neuromuscular Síntesis ácidos grasos	Arginasa, piruvato carboxilasa		25-50 mg
Molibdeno	Metabolismo de purinas, pirimidinas Reacción redox	Xantino oxidasa Aldehído oxidasa	No	0,2-0,5 mg
Selenio*	Antioxidante y necesario para metabolismo de las grasas	Glutation peroxidasa	Valor plasmático	300-1.000 µg
Zinc*	Metabolismo energético Formación de colágeno Síntesis proteica Proliferación epitelial	Polimerasa DNA-RNA Anhidrasa carbónica Carboxipeptidasa	Nivel en leucocitos	25-50 mg

* Deficiencia bien reconocida en pacientes críticos

El estrés oxidativo se reconoce como fundamental en la fisiopatología de la enfermedad crítica, especialmente en el desarrollo de la falla orgánica. Las especies reactivas de oxígeno (ROS) y las especies reactivas de nitrógeno-oxígeno (RNOS) desempeñan roles claramente identificados en la modulación de la señal celular, proliferación, apoptosis y protección celular. Sin embargo, los ROS y RNOS también son capaces de atacar proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y ácidos grasos poliinsaturados, resultando en daño celular y disfunción celular. Se ha postulado que la administración exógena de elementos en traza y vitaminas podría ser útil para restablecer el balance entre oxidantes y antioxidantes en la enfermedad crítica. Sin embargo, la mayoría de estos estudios fueron realizados en poblaciones muy pequeñas de pacientes con trauma, quemaduras, sepsis y

SDRA, y por lo tanto no tienen poder para detectar un efecto terapéutico sobre variables clínicas importantes.

En una revisión sistemática de la literatura realizada por Heyland y col., evaluando 11 ensayos con 886 pacientes, comprobaron una reducción estadísticamente significativa de la mortalidad asociada con la provisión de antioxidantes, en particular selenio. Estos elementos en traza no se asociaron con una reducción de las complicaciones infecciosas, sugiriendo que el efecto sobre la mortalidad fue mediado por otros mecanismos, probablemente relacionadas con la mejoría de la función orgánica. Es importante destacar que ninguno de los ensayos utilizando micronutrientes comprobó la existencia de efectos colaterales de estos productos, por lo que su administración se considera segura. La dosis de selenio utilizada en los ensayos con efectos beneficiosos sobre la mortalidad fue 5-20 veces mayor que la recomendada para la alimentación parenteral (300-1.000 µg por día).

RECOMENDACIONES NUTRICIONALES

Las consideraciones del presente capítulo pueden ser aplicadas para formular una guía aproximada del aporte de macronutrientes en tres situaciones principales observadas en la práctica médica: postoperatorio, pacientes con depleción y pacientes hipermetabólicos. Además de los aportes recomendados, todos estos pacientes deben recibir una cantidad adecuada de vitaminas, electrolitos y micronutrientes.

Pacientes posquirúrgicos

En términos de soporte nutricional, es generalmente aceptado que la nutrición precoz es mejor que la tardía, que la enteral es superior a la parenteral, que la calidad de los nutrientes parece ser más importante que la cantidad, y que poblaciones seleccionadas pueden obtener beneficios adicionales con una suplementación específica de nutrientes. Los objetivos del soporte nutricional han cambiado en los últimos años de los intentos para preservar la masa corporal magra luego del estrés quirúrgico o traumático a un objetivo más específico cual es la atenuación de la respuesta hipermetabólica, la reversión de la pérdida de masa magra, la prevención del estrés oxidativo, la modulación favorable de la respuesta inmune con el empleo precoz de la nutrición enteral, el meticuloso control de la glucemia y la administración apropiada de macro y micronutrientes, incluyendo glutamina, arginina, ácidos grasos ω-3 y otros substratos novedosos.

En un esfuerzo para identificar qué pacientes se beneficiarían de una preparación nutricional preoperatoria, Kudsk y col. utilizaron los niveles de albúmina para estratificar el riesgo nutricional. En un estudio retrospectivo, los autores informaron que los niveles de albúmina son un indicador adecuado y de bajo costo de la morbilidad potencial. También notaron que el significado de la hipoalbuminemia preexistente es subreconocido y por lo tanto subtratado. Recomiendan que en cirugía esofágica, gástrica y pancreática, cuando la albúmina está por debajo de 3,25 g/dl, la operación debe ser pospuesta hasta obtener un mejor estado nutricional. Un estudio prospectivo ulterior confirmó las conclusiones precedentes (Daley y col.).

En los últimos años se han reevaluado múltiples aspectos de las técnicas nutricionales posoperatorias, en particular las destinadas a pacientes con cirugías electivas o semielectivas. En tal sentido, el mayor interés se ha puesto en el reconocimiento de la relación costo/efectividad de la técnica implementada.

Recientemente, Miles revisó 19 estudios en los cuales el gasto energético basal (REE) fue medido utilizando calorimetría indirecta y comparado con el gasto energético basal estimado por la fórmula de Harris-Benedict (BEE). Si se excluyen los pacientes con quemaduras, trauma craneoencefálico y fiebre, que presentan un aumento del gasto energético basal, el resto de los pacientes podrían ser alimentados adecuadamente con un aporte energético igual al 100 al 120% del BEE estimado. Se admite que el impacto de la severidad de la enfermedad sobre el REE es incierto pero probablemente menor del estimado antiguamente.

En relación a los macronutrientes específicos, los requerimientos de carbohidratos se estiman entre 3 y 6 mg/kg/min (alrededor de 200-300 g/día), de proteínas entre 1,25 y 2,0 g/kg/día, y de lípidos el 10 al 25% del total de calorías, dependiendo de la ruta y de la composición de los lípidos. Estas relaciones varían dependiendo de la condición específica del paciente. En forma ideal, se debe intentar proveer suficientes nutrientes para minimizar las pérdidas catabólicas asociadas con el estrés, injuria y cirugía y evitando a su vez los problemas asociadas con la sobrenutrición, tales como la hiperglucemia, azotemia, exceso de la producción de CO₂, etc.

Pacientes desnutridos

El objetivo a largo plazo de la terapéutica nutricional en estos pacientes es restaurar la masa celular perdida; la grasa perdida puede ser restaurada en la medida en que ello se considere necesario. Un objetivo más inmediato, dentro de lo posible, es restituir al paciente a un adecuado ingreso oral. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que muchos pacientes mal nutridos requieren nutrición parenteral o dietas enterales definidas, ya que los mismos están desnutridos precisamente por una disfunción gastrointestinal.

La composición de la pérdida de peso depende de las condiciones bajo las cuales la misma se produce. La composición aproximada de esta pérdida debido a un ayuno crónico es una parte de masa celular orgánica por una parte de grasa. Esto es lo que ocurre en condiciones tales como la *anorexia nervosa* o la EPOC. En condiciones de ayuno agudo, la composición de la pérdida corporal es aproximadamente dos partes de masa celular orgánica por una parte de grasa. Cuando se acompaña de trauma o sepsis se puede alcanzar a perder cuatro partes de masa celular orgánica por una parte de grasa. Parece razonable intentar la recuperación del peso corporal con la misma composición que se pierde.

Los pacientes desnutridos que no puedan utilizar su vía digestiva deben recibir nutrición parenteral total con un contenido de 300-400 mg N/kg/día y un aporte calórico de 40% por encima de su gasto energético de reposo o un 20% por encima del gasto energético total estimado. Esta combinación proteico-energética provee una restauración tisular rápida con una relación de masa corporal seca:grasa de aproximadamente 2:1.

Pacientes hipermetabólicos

Shizgel y Martin determinaron los requerimientos calóricos de los pacientes hipermetabólicos a través de mediciones de la composición corporal total durante la nutrición parenteral total. En los pacientes no sépticos, el mantenimiento de la masa celular corporal se logra con un ingreso de 35 kcal/kg/día. Si se pretende lograr un incremento de la masa celular corporal, el ingreso calórico debe exceder los niveles demostrados para el mantenimiento. El ingreso proteico, por su parte, debe realizarse en base a una relación de calorías no proteicas:nitrógeno, de 80:1 a 100:1.

Los pacientes injuriados en forma aguda o sépticos son resistentes a los nutrientes, en particular a la glucosa. La sobrecarga de la misma puede producir efectos desfavorables, y como estos pacientes habitualmente están bien nutridos, no cumple un propósito mayor. El objeto en estos casos es minimizar las pérdidas de masa celular orgánica, lo cual puede lograrse proveyendo energía a la mitad de lo que se pierde y proteínas en cantidad de 1,5-2,0 g/kg/día. Aunque deben ser administrados por lo menos 100 gramos por día de carbohidratos, el aporte energético adicional conviene administrarlo como carbohidratos y grasas, puesto que estos pacientes pueden tener una alta resistencia a la glucosa. Se debe tener en cuenta que la dosis máxima de glucosa para un paciente injuriado es de 5 mg/kg/min, aunque en pacientes críticos con fallas parenquimatosas la dosis recomendada es de 0,5 gr/kg/hora. La dosis habitual de lípidos en los adultos es de 1 a 2 g/kg/día; en los pacientes severamente injuriados se recomienda no utilizar más de 1 gr/kg/día, para minimizar el riesgo de complicaciones.

En estos pacientes, y en aquellos con deterioro nutricional crónico, se debe evitar el “síndrome de sobrealimentación“. La sobrealimentación calórica se produce cuando la provisión de energía no proteica excede la capacidad del organismo para metabolizarla. La sobrealimentación por exceso de aporte de calorías no proteicas puede inducir hipertrigliceridemia, hiperglucemia, hiperinsulinemia, retención de líquidos, deterioro de la función inmune, disfunción hepática, aumento de la producción de CO₂, compromiso respiratorio y o descompensación cardiaca. Por su parte, el aporte en exceso de proteínas también puede tener efectos adversos. Cuando un paciente es provisto con grandes cantidades de proteínas, aumenta la tasa de deaminación oxidativa. Cuando el amonio liberado excede la capacidad del ciclo de la urea, o la urea formada excede el umbral renal de clearance, se producen hiperamoniemia o azotemia, respectivamente. La hiperamoniemia se asocia con encefalopatía, aunque su mecanismo y umbral es poco conocido en humanos. La azotemia progresiva aumenta la excreción de agua libre por el riñón, produce un estado de deshidratación hipertónica e hipernatremia. Se recomienda la medición seriada de la urea y del amonio en sangre para evaluar la adecuación del aporte proteico.

Una observación interesante es la de Krishnan y col., quienes evaluaron la consistencia del ingreso calórico en un grupo de pacientes en dos unidades de terapia intensiva en EE.UU., y la compararon con las recomendaciones del American College of Chest Physicians (25 kcal/kg o 27,5 kcal/kg en presencia de síndrome de respuesta inflamatoria sistémica). Comprobaron que los pacientes que recibían un aporte calórico entre el 33 y el 65% de las recomendaciones del ACCP (aproximadamente 9 a 18 kcal/kg/día) presentaban mejor evolución que aquellos que recibían mayor aporte calórico.



BIBLIOGRAFÍA

Anderson C., Loosbrock R., Moxness K.: Nutrient intake in critically ill patients: too many or too few calories? *Mayo Clin Proc* 61:853-1986

Ashworth A.: Practical aspects of dietary management during rehabilitation from severe protein energy malnutrition. *J of Human Nutrition* 34:360-1980

Caldwell M., Kennedy C.: Normal nutritional requirements. *Surg Clin North Amer* 61:489-1981

Chiolero R., Kinney J.: Metabolic and nutritional support in critically ill patients: feeding the whole body or individual organs? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 4:127-2001

Daley J., Khuri S., Henderson W.: Risk adjustment of the postoperative morbidity rate for the comparative assessment of the quality of surgical care: results of the National Veterans Affairs Surgical Risk Study. *J Am Coll Surg* 185:328-1997

Damask M., Schwarz Y., Weissman C.: Energy measurements and requirements of critically ill patients. *Crit Care Clinics* 3: 71-1987

DeLany J., Lovejoy J.: Energy expenditure. *Endocr Metab Clin N Am* 25:831-1996

Demling R., DeBiaise M.: Micronutrients in critical illness. *Crit Care Clin* 11:651-1995

Dvir D., Cohen J., Singer P.: Computerized energy balance and complications in critically ill patients. *Clin Nutr* 25:37-2006

Elwyn D.: Nutritional requirements of adult surgical patients. *Crit Care Med* 8:9-1980

Heyland D., Dhaliwal R., Suchner U.: Antioxidant nutrients: a systematic review of trace elements and vitamins in the critically ill patient. *Intensive Care Med* 31:327-2005

Krishnan J., Parce P., Martinez A.: Caloric intake in medical ICU patients. Consistency of care with guidelines and relationship to clinical outcomes. *Chest* 12:124-2003

Kudsk K., Tolley E., DeWitt R.: Preoperative albumin and surgical site identify surgical risk for major postoperative complications. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 27:1-2003

Martindale R., Maerz L.: Management of perioperative nutrition support. *Curr Opin Crit Care* 12:290-2006

Mechanic J., Brett E.: Nutrition and the chronically critically ill patient. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 8:33-2005

Meyer N., Muller M., Herndon D.: Nutrient support of the healing wound. *New Horizons* 2:202-1994

Miles J.: Energy expenditure in hospitalized patients: implications for nutritional support. *Mayo Clin Proc* 81:809-2006

Mora R.: Soporte nutricional especial. Edit. Médica Panamericana, Buenos Aires 1992



Moreira da Rocha E., Alves V., Barcellos da Fonseca R.: Indirect calorimetry: methodology, instruments and clinical application. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 9:247-2006

Patiño J., Echeverri de Pimiento S., Vergara A.: Hypocaloric support in the critically ill. *World J Surg* 23:553-1999

Perman M., Fecskes C., Camputaro L.: Soporte nutricional en pacientes críticos neurológicos y neuroquirúrgicos. En Lovesio C.: *Medicina Intensiva: Neurología y Neurocirugía*, Edit. Medi Libros 1997

Peters C.: Studies on calorie to nitrogen ratio for total parenteral nutrition. *Surg Gyn Obst* 151:1-1980

Rombeau J., Caldwell M.: Parenteral nutrition. WB Saunders Co, Philadelphia 1986

Shankar A., Prasad A.: Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *Am J Clin Nutr* 68:Suppl:447S-1998

Sheridan R., Prelack K., Yin L.: Energy needs are poorly predicted in critically ill elderly. *J Intensive Care Med* 12:45-1997

Shizgal H., Martin M.: Caloric requirement of the critically ill septic patient. *Crit Care Med* 16:312-1988

Turnlund J.: Human whole body copper metabolism. *Am J Clin Nutr* 67:Suppl:960S-1998

Ulsewe K., van Acker B., von Meyenfeldt M.: Nutritional depletion and dietary manipulation: effects on the immune response. *World J Surg* 23:536-1999

Wernerman J.: Glutamine and acute illness. *Curr Opin Crit Care* 9:279-2003

Wernerman J.: Guidelines for nutritional support in intensive care unit patients: a critical analysis. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 8:171-2005

Wilmore D.: Postoperative protein sparing. *World J Surg* 23:545-1999

Wolfe B., Chock E.: Energy sources, stores, and hormonal controls. *Surg Clin N Am* 61:509-1981