

NECESIDADES ENERGÉTICAS DEL ORGÁNISMO HUMANO

Francisco Grande Covián

Catedrático de Biología
de la Universidad de Zaragoza.

1985

Reflexión sobre el libro de
Cuello y Evertz

RA

NECESIDADES ENERGÉTICAS DEL ORGANISMO HUMANO.

Los seres vivos son sistemas sumamente inestables que requieren un continuo aporte de energía libre para su mantenimiento. Una de las finalidades principales de los procesos nutritivos es, precisamente, el suministro de dicha energía.

Desarrollo histórico del concepto energético de la nutrición.

El conocimiento del aspecto energético de los procesos nutritivos, se inicia hace ahora 200 años con los estudios de Lavoisier, que constituyen de hecho el punto de partida del estudio científico de la nutrición. Lavoisier propuso la identidad entre la respiración de los animales superiores y la combustión. "La respiración", escribieron Lavoisier y Seguin, "no es más que una combustión lenta de carbono e hidrógeno, enteramente semejante a la que tiene lugar en una lámpara o una vela encendidas y, desde este punto de vista, los animales que respiran son verdaderamente cuerpos combustibles que se queman y consumen a sí mismos".

Lavoisier midió el consumo de oxígeno (O_2) y la producción de dióxido de carbono (CO_2) como índice de los cambios de $\frac{e}{4}$ energía que se verifican en el organismo vivo. Con la ayuda de Laplace construyó un calorímetro de hielo que le permitía medir el calor emitido por un animal (un cobaya), y observó una cierta relación entre la cantidad de calor y la de CO_2 producido. Observó además que el consumo de oxí-

geno aumenta con la actividad muscular y después de la ingestión de alimento.

En 1866 Pettenkofer y Voit, mediante la determinación de los balances de carbono y nitrógeno, midieron las cantidades de grasas y proteínas oxidadas durante el ayuno, demostrando que el consumo de oxígeno durante el periodo de observación, coincidía con un error del 6 porc ciento con la cantidad de oxígeno teóricamente necesaria para oxidar las cantidades de grasas y proteínas calculadas a partir de los balances de carbono y nitrógeno.

En 1894 demostró Rubner que la cantidad de calor emitido por un perro introducido en un calorímetro, coincidía con la suma de los calores de combustión de las grasas y proteínas oxidadas por el animal, menos el calor de combustión de la orina eliminada durante el experimento.

Dos años mas tarde, Laulanié, utilizando varias especies de mamíferos y aves, tanto en ayunas como alimentadas, demostró que el valor calórico del oxígeno consumido correspondía a $4,75 \text{ kcal} \cdot \text{lit}^{-1}$, mientras que el calculado a partir de los balances de carbono y de nitrógeno era de $4,71 \text{ kcal} \cdot \text{lit}^{-1}$.

En estos experimentos Rubner y Laulanié demostraron por tanto, que el recambio energético de los animales, expresado como producción de calor, obedece al primer principio de termodinámica, o principio de conservación de la energía. Los seres vivos obedecen a las leyes universales de la enrgética y no pueden crear ni destruir energía. Solo pueden transformar unas formas de energía en otras.

Como ha hecho notar Kleiber (1975), las observaciones demuestran

que el metabolismo animal obedece a la Ley de Hess, o ley de las sumas constantes de calor, formulada en 1840. Según esta ley, que es una consecuencia del principio de conservación de la energía, la cantidad de calor desprendida en una reacción exotérmica es independiente del curso de la reacción y está determinada solamente por los estados inicial y final de la misma. Dada la complejidad de las reacciones bioquímicas, es fácil comprender la importancia de la ley de Hess, que nos permite predecir la cantidad de calor liberada durante la transformación en el organismo de una substancia dada, si conocemos los productos finales de la reacción, sin necesidad de conocer las reacciones intermedias.

En 1899 Atwater y Benedict confirmaron los resultados de Rubner y de Laulanié en el hombre, demostrando que los cambios de energía que tienen lugar en el organismo humano durante la ejecución de trabajo muscular obedecen también al principio de conservación de la energía. Los principios que gobiernan el recambio de energía de los animales y el hombre quedaron pues sólidamente establecidos a principios del presente siglo y no ha habido razón alguna para modificarlos hasta el presente. Como ha escrito Brody (1945), "La primera ley de Termodinámica se cumple tanto en los sistemas vivos como en los no vivientes: el equivalente energético del trabajo realizado por el animal, más la energía necesaria para el mantenimiento del mismo, más el incremento calórico asociado con la ingestión de alimento, debe ser igual a la energía liberada por la oxidación de las substancias nutritivas. Este carácter definitivo da a la primera ley un sentido de finalidad universal y una base firme para las investiga-

bioenergéticas, aún cuando no conozcamos el mecanismo de las reacciones".

La energía que los seres vivos continuamente necesitan, se deriva de la oxidación de los tres compuestos orgánicos principales contenidos en los alimentos (hidratos de carbono, grasas y proteínas), o de la oxidación de los propios componentes corporales (grasas y proteínas), cuando el organismo se encuentra en la situación de ayuno. En consecuencia, es posible calcular el recambio energético de los animales y del hombre, expresado en forma de producción de calor, de tres maneras diferentes:

- 1). Midiendo el recambio respiratorio, es decir la cantidad de O_2 consumido o de CO_2 producido, o ambas cantidades, durante un tiempo dado.
- 2). Midiendo la cantidad de substancias (procedentes de los alimentos o de los componentes corporales) oxidadas durante el tiempo de observación.
- 3). Midiendo directamente en un calorímetro la cantidad de calor emitido por el sujeto.

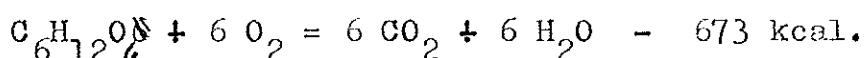
Los dos primeros métodos constituyen lo que habitualmente llamamos calorimetria indirecta, mientras que el tercer procedimiento constituye el método de la calorimetria directa.

En los estudios de nutrición las necesidades de ~~xxxgi~~ energía, y los cambios energéticos en general se expresan en kilocalorías. Recuérdese que una kilocaloría es la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado centígrado la temperatura de un kilo de agua. Habitualmente utilizamos la kilocaloría¹⁵ que corresponde a la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilo de agua de

14,5 a 15,5 grados centígrados. En el momento actual existe la tendencia a utilizar como unidad ~~xxxxxx~~ el kilo julio, ^{un} múltiplo del Julio, la unidad universal de energía. Teniendo en cuenta que la mayoría de los lectores están más familiarizados con el uso de las kilocalorías esta es la unidad que utilizaremos en este artículo. La transformación de kcalorías en kjulios puede llevarse a cabo fácilmente teniendo en cuenta que una kilocaloría equivale a 4,18 kjulios y un kjulio igual a 0,239 kcalorías.

Algunos datos útiles en el estudio del recambio energético.

Supongamos como ejemplo la oxidación de una molécula de glucosa, según la reacción siguiente:



La oxidación de un mol de glucosa (180 g) requiere 6 moles de O_2 (134,4 litros, en condiciones estandar de presión y temperatura). Como resultado de la reacción se forman 6 moles (134,4 litros) de CO_2 y 6 moles de agua (108 g), con liberación de 673 kcal.

El valor calórico de 1g de glucosa será por tanto $673/180 = 3,74$ kcal. g^{-1} . El equivalente calórico del oxígeno será $673/134,4 = 5,0$ kcal. litro^{-1} .

Del mismo modo podemos calcular el calor liberado en la oxidación de una molécula de un triglicérido (grasa), y el equivalente calórico del oxígeno necesario para dicha oxidación.

Tanto en el caso de los hidratos de carbono, como en el de las grasas, de acuerdo con la ley de Hess, las cantidades de calor liberadas por su oxidación en el organismo son iguales a las medidas con un

calorímetro en el laboratorio al quemar dichas substancias, puesto que los productos finales de la oxidación son los mismos en ambos casos. No ocurre así con las proteínas cuyos productos de ~~oxidación~~ ^{degradación} en el organismo, ~~xxx~~ a arte de CO_2 y H_2O , incluyen productos nitrogenados (principalmente urea) que poseen un cierto calor de combustión. La cantidad de energía liberada por la oxidación de 1g de proteínas en el organismo será, por tanto, igual al calor de combustión de la misma medida en el calorímetro, menos el calor de combustión de los productos nitrogenados de su degradación en el organismo, que aparecen en la orina.

Hace unos 90 años Zuntz calculó la energía liberada por la oxidación de cada uno de los tres principios inmediatos en el organismo. Según sus datos, 1 g de almidón libera 4,18 kcal, 1g de grasa 9,46 kcal y 1g de proteínas 4,42 kcal. Más tarde, Atwater corrigió estos factores teniendo en cuenta principalmente la utilización digestiva de los principios inmediatos contenidos en una dieta mixta. Los factores de Atwater: $4,0 \text{ kcal.g}^{-1}$ para los hidratos de carbono y las proteínas y $9,0 \text{ kcal.g}^{-1}$ para las grasas ^{hoy se usa 9,5} son universalmente utilizados en los cálculos dietéticos.

Los equivalentes calóricos de un litro de oxígeno varían entre $4,60 \text{ kcal.litro}^{-1}$ para las proteínas, $4,67 \text{ kcal.litro}^{-1}$ para las grasas y $5,05 \text{ kcal.litro}^{-1}$ para los hidratos de carbono. Para la dieta habitual, en la que las proteínas suministran entre un 10 y un 15 por ciento de la energía total, el equivalente calórico medio ~~es~~ de $4,8 \text{ kcal.litro}^{-1}$ es el valor generalmente utilizado.

La medida del consumo de oxígeno, habitualmente empleada en la de-

terminación del recambio energético, no permite deducir la naturaleza de los combustibles utilizados por el organismo durante el tiempo de observación, es decir lo que habitualmente denominamos la "mezcla metabólica". El método tradicionalmente utilizado para este fin, consiste en medir además del consumo de oxígeno, la producción de CO_2 y la eliminación urinaria de nitrógeno. Puesto que una proteína contiene por término medio un 16 por ciento de nitrógeno, un gramo de nitrógeno urinario corresponde a la degradación de $100/16 = 6,25$ g de proteína.

La relación entre CO_2 producido y O_2 consumido (CO_2/O_2), o "cociente respiratorio" (CR), varía de unos principios a otros, y ha sido utilizado ~~xxxx~~, junto con la medida del nitrógeno urinario, para determinar la proporción de cada uno de ellos en la mezcla metabólica. Pero el cociente respiratorio es afectado por procesos tales como la transformación de hidratos de carbono en grasa y la producción de cuerpos cetónicos, entre otros. Por ello, su utilización para la determinación de las proporciones de principios inmediatos en la mezcla metabólica solo es válida en condiciones estrictamente definidas.

A continuación damos como ejemplo los datos de Zuntz que han servido de base para muchos de los cálculos metabólicos clásicos.

Tabla 1.

Necesidades de energía del organismo humano.

Las necesidades de energía del organismo humano incluyen las tres partidas siguientes:

- a). Necesidades de mantenimiento (Metabolismo basal)
- b). Costo de la actividad física.
- c). Efecto térmico de los alimentos (efecto dinámico específico).

a). Metabolismo basal.

Denominamos Metabolismo basal (MB) al recambio energético de un sujeto en reposo físico y mental, en un ambiente confortable y después de 12 a 16 horas de ayuno. El metabolismo basal se determina en la gran mayoría de los casos, midiendo el consumo de oxígeno y se expresa habitualmente en términos de ml de O_2 por minuto, o transformando el consumo de oxígeno en calorías por minuto, por hora, o por 24 horas.

El concepto de metabolismo basal ha sido objeto de numerosas críticas en cuyo detalle no podemos entrar aquí. Es verdad que las condiciones en que la medida se realiza son, en cierto modo, artificiales y no responden a ninguna situación fisiológica habitual en la vida de las especies animales. Pero dado que su determinación se realiza en condiciones bien definidas, el metabolismo basal constituye un valioso medio de comparar unas especies con otras, en cuanto a sus demandas de energía se refiere. Es, así mismo, un valioso punto de referencia para el estudio de los cambios de metabolismo energético producidos en diversas situaciones fisiológicas y patológicas, y para estudiar los factores que determinan las necesidades de energía del

organismo. Aunque en la literatura clásica se nota cierta resistencia a identificar el metabolismo basal con las necesidades ~~de~~ energéticas de mantenimiento, parece razonable admitir que el metabolismo basal representa con aproximación satisfactoria, la cantidad de energía necesaria para el mantenimiento de las funciones vitales, en las condiciones en las que la medida se realiza. En este sentido, el metabolismo basal representa la cantidad de energía que la dieta debe contener para satisfacer dichas necesidades de mantenimiento.

Mucha de la literatura sobre metabolismo basal procede de estudios médicos en los que la medida se ha utilizado principalmente como técnica para el diagnóstico de ciertas enfermedades. Por ello, la literatura clínica sobre el metabolismo basal ha estado más relacionada con cuestiones diagnósticas y con el establecimiento de patrones de referencia para juzgar la normalidad o anormalidad de la medida, que con el problema fundamental de estudiar su significación fisiológica y los mecanismos que lo determinan y regulan.

Para un joven de 25 años y 70 kg de peso, el consumo basal de oxígeno es del orden de 240 ml. min^{-1} . Suponiendo un equivalente calórico del O_2 de $4,8 \text{ kcal. litro}^{-1}$, este consumo equivale a $0,240 \times 4,8 = 1,15 \text{ kcal. min}^{-1}$, es decir $1,15 \times 1440 = 1656 \text{ kcal}$ en 24 horas. Esta cifra es prácticamente la misma que se obtiene suponiendo que el metabolismo basal es igual a una $\text{kcal. kg}^{-1} \text{ hora}^{-1}$. El metabolismo basal de nuestro sujeto será por tanto $70 \times 24 = 1680 \text{ kcal}$ por 24 horas.

En términos de potencia, es decir cantidad de energía transformada

por unidad de tiempo, puesto que 1 kcal.hora^{-1} corresponde a $1,16$ watos tendremos que ~~maximizar~~ el metabolismo basal de nuestro sujeto será $70 \times 1,16 = 81$ watos.

Principales

El tamaño corporal, el sexo y la edad son los factores habitualmente considerados como determinantes del metabolismo basal en los sujetos normales.

Influencia del tamaño corporal: No es difícil comprender que el tamaño del animal, expresado como peso corporal, tenga un influencia decisiva sobre la magnitud del metabolismo basal, y esta relación ha sido bien conocida desde hace muchos años. Evidentemente, un animal como una ballena o un elefante debe tener un metabolismo basal mayor que el de una rata o un ratón. La cuestión está determinar cual es la relación cuantitativa entre metabolismo basal y tamaño corporal. Este problema ha constituido un tema clásico en el estudio del metabolismo basal que debemos considerar, aunque sea muy sucintamente.

Treviranus observó en 1832 que la producción de CO_2 expresada por unidad de peso corporal, era mayor en los animales de pequeño tamaño que en los grandes, y este hecho ha sido repetidamente confirmado por otros investigadores.

En 1839 Sarrus y Rameaux postularon que en los animales homeotermos, la producción de calor debe ser igual a la pérdida del mismo, a fin de mantener constante la temperatura corporal. Postularon también que la pérdida de calor debe ser proporcional a la superficie "libre". La superficie de cuerpos geométricos semejantes es proporcional al cuadrado de los lados homólogos, mientras que el volumen es proporcional al cubo de los mismos. Tomando volumen igual a peso, Sarrus

y Rameaux concluyeron que la superficie corporal debe ser proporcional al cuadrado de la raíz cúbica del peso, es decir igual al peso elevado a la potencia $2/3$ ($0,66$).

Estos postulados constituyen el origen de llamada "Ley de superficie", según la cual el metabolismo basal es proporcional a la superficie corporal que es, a su vez, proporcional al peso elevado a la potencia $0,66$. La comprobación experimental de esta relación fue llevada a cabo por Rubner en 1883, al demostrar en perros de distinto tamaño que el metabolismo basal expresado por unidad de peso disminuye al aumentar el peso corporal del animal, mientras que se mantiene prácticamente constante cuando se expresa por unidad de superficie corporal. El más pequeño de los perros utilizados por Rubner pesaba 3,2 kg y su metabolismo basal era de $88,1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. El perro mayor pesaba 31,2 kg y su metabolismo basal era de $35,7 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. El metabolismo basal de los 7 perros estudiados, expresado por unidad de superficie corporal correspondía en todos los casos, aproximadamente, a $1000 \text{ kcal por } \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$. Rubner concluyó: "Para superficies iguales hay un consumo isodinámico de alimentos".

Rubner se dió cuenta de las dificultades teóricas que la Ley de superficie plantea desde el punto de vista teórico, si se tiene en cuenta que las células de los tejidos homólogos que constituyen el organismo de los animales de distinto tamaño no son esencialmente diferentes ni en su morfología ni en sus propiedades biocíquicas. Como el mismo señala en su famosa obra de 1902 (*Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung*): "la diferencia del metabolismo térmico entre perros grandes y pequeños no es debida a que sus células

estén organizadas de modo diferente, sino a que el estímulo debido al enfriamiento de la piel actúa con distinta intensidad sobre la actividad celular".

La Ley de superficie ha dominado el estudio del metabolismo basal durante casi un siglo y todavía los médicos emplean tablas en las que el metabolismo basal "normal" se calcula teniendo en cuenta la superficie corporal del sujeto, calculada a partir de su peso y su talla. Por numerosas razones, en cuyo detalle no es posible entrar, la Ley de superficie y las consecuencias que de ella se derivan son inaceptables en la actualidad. En 1888 demostró von Hoesslin que la ley se aplica también a los animales poiquilotermos, como los peces, y que el metabolismo basal de perros sometidos a temperaturas ambientales diferentes no varía en proporción a la diferencia de las temperaturas a que habían sido sometidos. Estos y otras observaciones posteriores justifican por tanto, la afirmación de Schmidt-Nielsen (1972) según la cual : "La función primaria del metabolismo basal no es el mantenimiento de la temperatura corporal".

Los importantes estudios de Brody (1945) y los más recientes de Kleiber (1975) demuestran que el metabolismo basal de animales de difinto tamaño es proporcional a una potencia fraccionaria del peso corporal, que no es la potencia 0,65 como demanda la Ley de superficie, y esta relación es válida tanto para los homóteros, como para los poiquilotermos y los seres unicelulares. Según la llamada "Regla de Kleiber" el catabolismo basal, en kcal por 24 horas, es igual a 70 veces el peso corporal en kg (P) elevado a la potencia 0,75; es decir:

$$NB = 70 \times P^{0,75}$$

Esta fórmula aplicada a un hombre de 70 kg nos da:

$$MB = 70 \times 70^{0,75} = 70 \times 22,9 = 1603 \text{ kcal. dia}^{-1} \quad \begin{smallmatrix} \text{Resul. fu. en el} \\ 1680 \text{ kcal/dia} \end{smallmatrix}$$

que es del orden de magnitud de las cifras antes calculadas.

El peso corporal elevado a la potencia 0,75 representa pues lo que llamamos el "tamaño metabólico", cuya propiedad fundamental es que cuando el metabolismo basal de un animal se divide por su "tamaño metabólico" se obtiene un cociente cuyo valor es prácticamente constante ~~xxxxxx~~ para las especies de animales homeotermos ~~xxxxx~~ ~~xxxxxx~~. Esta relación es también válida, como se ha señalado, para los poiquilotermos y los seres unicelulares (Hemmingsen, 1960).

En el caso de la especie humana, y dentro del rango de pesos considerados normales, la correlación entre peso corporal y metabolismo basal es prácticamente la misma que la observada entre una potencia fraccionaria del peso y metabolismo basal (Durnin, 1970).

Influencia del sexo y la edad: Se admite tradicionalmente que a igualdad de peso y edad el metabolismo basal de la mujer es aproximadamente un 10 por ciento menor que el del hombre; pero esta diferencia tiende a desaparecer cuando el metabolismo basal se refiere al peso del cuerpo libre de grasa (Fat free body, o FFB) o a la masa celular. Esto parece indicar que la diferencia habitualmente atribuida al sexo no es debida a que exista una diferencia de actividad metabólica entre las células homólogas que constituyen el organismo femenino y el masculino, sino al hecho que, a igualdad de peso y talla, la mujer tiene un mayor contenido de grasa corporal que el hombre.

La influencia de la edad sobre el metabolismo basal ha sido objeto de numerosos estudios y se admite generalmente que el metabolismo basal desciende, entre los 30 y 60 años a razón de un 3 por ciento por década. Pero la casi totalidad de los datos han sido obtenidos en estudios transversales, en los que se han comparado grupos de individuos de distinta edad, y no se han tenido en cuenta las diferencias de composición corporal asociadas con la edad.

Estudios longitudinales realizados en nuestro laboratorio sobre un mismo grupo de individuos examinados periodicamente a lo largo de 25 años demuestran que buena parte del descenso del metabolismo basal atribuido a la edad puede explicarse por los cambios de composición corporal de los sujetos; cambios que, como se ha señalado, no han sido tenidos en cuenta en los estudios transversales.

Metabolismo basal y composición corporal: El metabolismo basal de una persona representa la suma de las actividades metabólicas de las células que la constituyen en las condiciones en que la medida se realiza. Es fácil comprender que en el hombre y los animales superiores, los minerales depositados en el hueso, la grasa almacenada en el tejido adiposo y el agua del compartimento extracelular, deben tener una participación prácticamente nula en el recambio energético del organismo.

→ El metabolismo basal debe estar primariamente determinado por el tamaño de la masa celular activa, tal como fue concebida por Voit quien en 1902 escribió: "Las causas desconocidas del metabolismo se encuentran en las células del organismo. La masa de estas células

y su capacidad para descomponer materiales determina el metabolismo. . . . La producción de energía tiene un límite superior bien definido que viene dado por la capacidad ~~xxx~~ de las células".

Entre los fisiólogos americanos Benedict fue uno de los primeros en admitir que la masa de células es el factor determinante del metabolismo basal. Mas recientemente Kleiber (1975) afirma con toda claridad: "El metabolismo basal del animal es la suma de las actividades metabólicas de todas sus células (si no se tienen en cuenta posibles reacciones en el líquido extracelular)."

Algunos fisiólogos franceses (Le Breton, 1926), utilizan también el concepto de masa celular como determinante del metabolismo basal, pero mantienen que las diferencias de metabolismo basal entre animales de distinto tamaño reflejan diferencias en el nivel de actividad metabólica de su células respectivas.

Con el desarrollo en los últimos 40 años de métodos para ~~para~~ el estudio de la composición corporal en el hombre, ha sido posible obtener medidas del tamaño de la masa celular; pero es preciso reconocer que, a pesar del entusiasmo de algunos autores, las medidas de la masa celular que poseemos no constituyen una unidad adecuada de referencia del metabolismo basal. Se debe esto a dos razones principales: 1) Las limitaciones de los métodos, 2) La heterogeneidad de la masa celular activa, que está de hecho constituida por tejidos y órganos con muy distintos niveles de actividad metabólica.

En relación con lo que hecha dicho, es importante considerar el reparto del recambio energético, a dijo como metabolismo basal, entre

los principales órganos de la economía. Mis cálculos más recientes (Grande, 1982), ^{, en el hombre,} indican que el hígado (incluyendo el área esplácnica) es responsable de un 25 por ciento aproximadamente del metabolismo basal, el cerebro de un 20 por ciento, el corazón de un 11 por ciento y el riñón ^{de} un 7 por ciento. Así pues, estos cuatro órganos, que no constituyen más del 6 por ciento del peso corporal, son responsables de algo más del 60 por ciento del metabolismo basal. En contraste, la musculatura, cuyo peso asciende a un 40 por ciento del peso corporal, es responsable solamente de un 20 a un 25 por ciento del metabolismo basal.

A la vista de estos de estos datos no es difícil comprender que animales del mismo tamaño puedan tener diferente metabolismo basal si varía la proporción entre los distintos órganos con diferente actividad metabólica en relación con el peso total.

Es muy posible que el elevado metabolismo basal de los animales de pequeño tamaño se deba, en buena parte, a que en dichos animales el peso de los órganos con elevada actividad metabólica es proporcionalmente mayor que en los animales de mayor tamaño. El peso del hígado en la rata, por ejemplo, es proporcionalmente 2,1 veces mayor que en el hombre, y el riñón 2,5 veces mayor. Estos y otros datos analizados en mi publicación de 1982 indican que la magnitud del metabolismo basal de una especie dada guarda relación con la proporción entre el peso total de los órganos con elevada actividad metabólica y el peso total del animal.

El peso de los elementos de ~~sistema~~ sostén y las estructuras tisulares

res accesorias a las células funcionales, tales como fibras conectivas y vasos, constituyen una fracción mayor del peso del órgano en los animales de gran tamaño que en los pequeños. Todo ello indica que la proporción de células metabólicamente activas, por unidad de peso corporal, tiende a ser menor conforme aumenta el tamaño del animal; pero no hay razón para suponer que la actividad metabólica de dichas células sea menor, porque como ha escrito Krebs (1950) :"Es de esperar que la intensidad del recambio energético de las células muy diferenciadas sea independiente del tamaño del animal , porque la energía necesaria para realizar un trabajo determinado es independiente del tamaño del animal". Nótese que Krebs se refiere a trabajo en sentido químico y no a trabajo mecánico.

b). Costo de la actividad física.

La actividad física, tal como observó Lavoisier, se acompaña de un aumento del consumo de oxígeno. Un atleta bien entrenado, que en condiciones basales puede consumir $250 \text{ ml O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$, puede llegar a consumir 4 litros de oxígeno por minuto al correr a toda velocidad, es decir 16 veces mas.

El consumo de oxígeno, y por tanto la producción calórica, aumentan dentro de ciertos límites en proporción a la intensidad del trabajo físico realizado. En 1953 E.H.Christensen, utilizando datos obtenidos en ~~los trabajos~~ obreros de la fundición en Suecia clasificó el trabajo muscular de acuerdo con la producción calórica del sujeto que lo realiza. Sus datos son reproducidos en la tabla 2.

Nuevos métodos para calcular el costo energético

Verlo al ritmo
al punto
mínimo de mantenimiento

Tabla 2

Posemos en la actualidad numerosas medidas del costo energético de las más variadas formas de actividad física, que nos permiten calcular aproximadamente las necesidades de energía de una persona, teniendo en cuenta las distintas actividades que realiza en el curso de la jornada. En la Tabla 3 ofrecemos algunos ejemplos para actividades habituales.

Tabla 3

Téngase en cuenta que los valores que aquí ofrecemos y los que se encuentran en la gran mayoría de las tablas modernas, corresponden a la producción calórica total del sujeto, e incluyen por tanto no solo el costo energético de la actividad realizada ~~sino también~~ sus necesidades de mantenimiento. En la medida que estas determinaciones han sido obtenidas en sujetos que no estaban en ayunas, incluyen también el efecto térmico de los alimentos del que luego nos ocuparemos. Los valores se expresan habitualmente en $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$, o en $\text{kjul} \cdot \text{min}^{-1}$.

La marcha es, indudablemente, la forma más común de actividad física y constituye la partida más importante del gasto energético durante las actividades no profesionales. El costo energético de la marcha depende principalmente de la velocidad de la misma y del peso del sujeto, así como de la pendiente del camino recorrido. En la Tabla 4 ofrecemos algunos datos acerca del costo ~~energético~~ energético de la marcha sobre terreno llano, para varias velocidades y sujetos de distinto peso.

Tabla 4

Otros factores como la naturaleza del suelo (más o menos blando) y el peso del calzado, así como la carga transportada, influyen sobre el costo de la marcha y existe información abundante al respecto,

en las tablas publicadas en distintos países.

El cálculo del gasto energético total durante un periodo de 24 horas, requiere la medida del tiempo empleado en cada una de las diversas actividades. Dicho tiempo (en minutos), multiplicado por el factor correspondiente (generalmente expresado en $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$, como ya se ha dicho), nos da el costo de cada una de las actividades y la suma de todos los productos nos da el costo total.

El gasto energético durante el sueño corresponde aproximadamente al metabolismo basal, es decir unas $1,15 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$ para un varón de 65 a 70 kg.

En la Tabla 5 reproducimos los valores medios obtenidos por Garry et al. en 1955 en un grupo de oficinistas y otro de mineros estudiados durante una semana.

Tabla 5.

Es fácil ver en la Tabla que la principal diferencia entre los individuos que ejercen una actividad sedentaria, como los oficinistas, y los que realizan una actividad laboral pesada, como los mineros, se debe al diferente costo energético de las actividades laborales respectivas. El costo de las actividades no laborales (transporte al lugar de trabajo, actividades domésticas y recreativas etc.) es, como puede verse, prácticamente el mismo en ambos casos.

c). Efecto térmico de los alimentos.

El efecto térmico de los alimentos, también llamado efecto dinámico específico, corresponde a la elevación del consumo de oxígeno observada por Lavoisier después de la administración de alimento, y ha

sido objeto de muy numerosos estudios, principalmente durante la primera mitad del presente siglo.

La idea tradicional es que las proteínas poseen mayor efecto térmico que los otros dos principios inmediatos, pero las investigaciones más recientes tienden a dar menos importancia a esta diferencia. Por ello, el término "efecto dinámico específico" es menos utilizado en la actualidad.

El mecanismo del efecto térmico de los alimentos no es bien conocido. Dado que la elevación del consumo de oxígeno puede detectarse a los 10 minutos de haber ingerido alimentos, es razonable suponer que está relacionado con el costo energético de los procesos digestivos; pero esto no puede explicar la duración del efecto que es de 5 a 6 horas. Las ideas más recientes acerca de este fenómeno lo relacionan con posibles modificaciones en la ~~xxx~~ velocidad de la síntesis proteica.

El aumento en el consumo de oxígeno producido por la ingestión de una dieta mixta no suele superar a un 10 por ciento del metabolismo basal en 24 horas.

El mayor interés actual por este problema se debe a su posible relación con el mecanismo de producción de la obesidad. Una menor respuesta térmica puede favorecer el almacenamiento de la energía de los alimentos en forma de grasa. Las medidas más recientes, en individuos mantenidos en una cámara calorimétrica durante días, indican que algunos obesos tienen una respuesta térmica reducida. Pero no todos los obesos muestran esta reducción que, por otra parte, es de poca importancia cuantitativa.

Recomendaciones dietéticas.

El valor energético de la dieta debe ser igual al gasto energético del sujeto a fin de satisfacer sus necesidades de energía. En principio, y en el caso del adulto, toda dieta administrada en cantidad suficiente para mantener el peso corporal, y que contenga alimentos representativos de los grupos principales de alimentos habituales, es capaz de satisfacer las necesidades nutritivas del ser humano.

En virtud del principio de conservación de la energía toda dieta cuyo valor energético sea superior al gasto de energía del sujeto, conduce al almacenamiento del exceso de energía en forma de grasa. A la inversa, toda dieta cuyo contenido energético sea inferior al gasto de energía del ~~xxxixmkk~~ sujeto, lleva consigo la utilización de las grasas y proteínas corporales como fuente de energía y, en consecuencia, a la pérdida de peso.

Pero es preciso reconocer que el hombre puede adaptarse al consumo de dietas de distinto valor energético sin que se observen cambios notables de su peso corporal. No existe una correlación estrecha entre el gasto energético del sujeto y el valor energético de la dieta consumida en un día dado. Se necesita un período de una semana a 10 días para que la media del gasto y la media del valor energético de la dieta coincidan.

Estos comentarios deben ser tenidos en cuenta para comprender que las recomendaciones dietéticas en términos de energía, son solo una guía útil para grupos de individuos, pero de limitado valor en

el caso de un individuo dado.

Para varones de actividad sedentaria las necesidades de energía se cifran en unas $2500 \text{ kcal} \cdot \text{dia}^{-1}$; para sujetos con actividad moderada en unas 2700 a 2800, y para sujetos muy activos o que realizan ^{en} esfuerzo muscular intenso $3300 \text{ a } 3500$.

Para varones de 23 a 50 años y peso medio de 70 kg, la cifra recomendada por el Food and Nutrition Board de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos es de $2700 \text{ kcal} \cdot \text{dia}^{-1}$. Para mujeres de la misma edad y peso medio de 50 kg, la cifra recomendada es de $2000 \text{ kcal} \cdot \text{dia}^{-1}$. Para las mujeres embarazadas se recomienda incrementar el valor calórico de la dieta en $300 \text{ kcal} \cdot \text{dia}^{-1}$ y en $500 \text{ kcal} \cdot \text{dia}^{-1}$ para las lactantes.

Referencias.

Brody, S. Bioenergetics and growth. Reinhold Pub. Co. New York, 1945

Davidson, S, Passmore, R., Brock, J.F. and Truswell. A.S. Human Nutrition and Dietetics. Churchill Livingstone, Edinburgh and London, 1979 (7^a edición).

Garrow, J. Energy balance and obesity in man. North Holland/American Elsevier, Amsterdam, 1974

Grande, F. Assessment of Body Fat in Man. En: Obesity in perspective G.A. Bray, editor. Department of Health, Education and Welfare, Pub. 75/708 Washington D.C. 1975.

Grande, F. Energy expenditure of organs and tissues. En Assessment of energy metabolism in health and disease, J.M. Kinney, editor. Ross Laboratories, Columbus, Ohio. 1980

Grande, F. Composición corporal y metabolismo energético. Discurso de ingreso, Academia de Ciencias Fisicas, Químicas y Naturales, Zaragoza, 1982

Henningsen, A.M. Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces and its evolution. Reports Steno Memorial Hospital, Nordisk Insulin Laboratory, Copenhagen, 1960

Kleiber, M. The Fire of Life Krieger Publishing Co. Huntington, New York, 1975.

Krebs, H.A., Body size and tissue respiration, Bi. chim. Biophys. Acta, 4 : 249, 1950.

Nutrition Foundation, Present knowledge in Nutrition. The Nutrition Foundation, Inc. New York and Washington, D.C., 1984

Passmore, R. and Durnin, J.V.G.A., Human Energy Expenditure. Physiol. Rev. 35 : 8801, 1955.

Rubner, M., Die Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung. J. Deuticke, Leipzig, 1902.

Tabla 1

Algunos datos utilizados en los cálculos metabólicos (Zuntz, 1897).

1 g de	O_2 necesario ml.	CO_2 producido ml.	CR	Energia liberada kcal.	kcal por litro de O_2 .
Almidón	828,8	828,8	1,00	4,18	5,047
Grasa animal	2019,2	1427,3	0,71	9,46	4,868
Proteinas	966,1	781,7	0,81	4,44	4,600

Tabla 2.

Gasto energético en relación con la intensidad del trabajo realizado, según E.H. Christensen (1953).

<u>Intensidad del trabajo</u>	<u>kcal.min⁻¹</u>
Muy ligero	< 2,5
Ligero	2,5 - 4,9
Moderado	5,0 - 7,4
Pesado	7,5 - 9,9
Muy pesado	10,0 - 12,5
Extremadamente pesado	> 12,5

Tabla 3.

Costo energético de algunas actividades (Según Davidson et al. 1979)

Trabajo ligero (170-350 watios, 2,5-4,9 kcal. \cdot min $^{-1}$)

Línea de montaje

Industrias ligeras

Industria eléctrica

Carpintería

Ejercicio militar (sin armas)

Trabajo doméstico (utilizando electrodomésticos)

Ejercicios gimnásticos

Industria de la construcción

Colocar ladrillos

Revocar con yeso

Pintar

Trabajo agrícola (mecanizado)

Conducir un camión

Jugar al golf o a los bolos.

Trabajo moderado (350-500 watios, 5,0-7,4 kcal. \cdot min $^{-1}$)

Trabajo con pico y pala

Trabajo agrícola (no mecanizado)

Marcha militar con fusil y mochila

Baile de salón

Jardinería

Jugar al tenis

Montar en bicicleta (hasta 15 km.hora $^{-1}$)

Trabajo pesado (500-650 watios, 7,5-9,9 kcal. \cdot min $^{-1}$)

Trabajo en mina de carbón

Jugar al football

Danza campesina

Trabajo muy pesado (650 watios, mas de 10 kcal. \cdot min $^{-1}$)

Trabajo de leñador (cortando árboles)

Fogonero en la industria del azúcar

Tabla 3 (Continuación).

Natación (crawl)

Carrera a campo traviesa

Montañismo

Tabla 4.

Costo energético de la marcha en llano, en función de la velocidad y el peso del sujeto, $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$. Calculada de los datos de Durnin y Passmore, 1967).

Velocidad $\text{km} \cdot \text{hora}^{-1}$	Peso en kg.					
	45	55	65	75	85	95
3,2	2,2	2,7	2,9	3,2	3,6	4,0
4,0	2,7	3,1	3,4	4,0	4,3	4,8
4,8	3,1	3,6	4,1	4,5	5,2	5,6
5,6	3,6	4,2	4,7	5,2	5,9	6,5
6,4	4,1	4,7	5,3	6,0	6,6	7,3

Tabla 5.

Gasto energético medio diario de 10 oficinistas (media de edad, 28,3 años, peso 64,6 kg) y 19 mineros de carbón (media de edad 33,6 años, peso 65,7 kg), medido durante una semana (Según Garry et al. 1955).

Actividad	Oficinistas kcal.	Mineros kcal.
Durmiendo	500	490
Trabajo profesional	890	1750
Otras actividades	1410	1420
Total (kcal.dia ⁻¹)	2800	3660