

DIPLOMADO NUTRICION DEPORTIVA

Parte del MOD. 3

- **Resumen Valoración del consumo energético en reposo y durante el ejercicio.**

VALORACION DEL CONSUMO ENERGETICO EN REPOSO Y DURANTE EL EJERCICIO

Calorimetría Directa

Puesto que toda la energía se transforma finalmente en calor la cantidad de energía liberada en una reacción biológica se calcula a partir de la cantidad de calor producido. La energía producida en los sistemas biológicos se mide en kilocalorías. Por definición una kilocaloría equivale a la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1kg. de agua desde 14.5°C hasta los 15.5°C con una presión atmosférica de 760 mmHg. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en las mismas condiciones anteriormente mencionadas. De esta manera, midiendo la producción de calor de nuestro cuerpo se puede calcular el ritmo de la utilización de la energía. Este proceso se puede realizar a través del uso de una cámara calorimétrica. La cámara calorimétrica se caracteriza por ser hermética, en su interior puede vivir, trabajar y ejercitarse una persona por períodos prolongados de tiempo. Para que haya ventilación satisfactoria, se emplean sustancias químicas que eliminan continuamente la humedad y absorben el dióxido de carbono del aire que exhala la persona (ver Figura 21). El oxígeno que se añade al aire circula por el interior de la cámara. En la cámara, mediante una serie de tuberías de cobre circula un volumen conocido de agua que absorbe el calor producido e irradiado por la persona. Toda la cámara está aislada, de forma que cualquier variación de la temperatura del agua se debe directamente al metabolismo energético de la persona. El producto del aumento de la temperatura por el peso del agua da el número de kilocalorías liberadas. De esta manera se puede medir el metabolismo energético del ser humano midiendo su producción de calor.

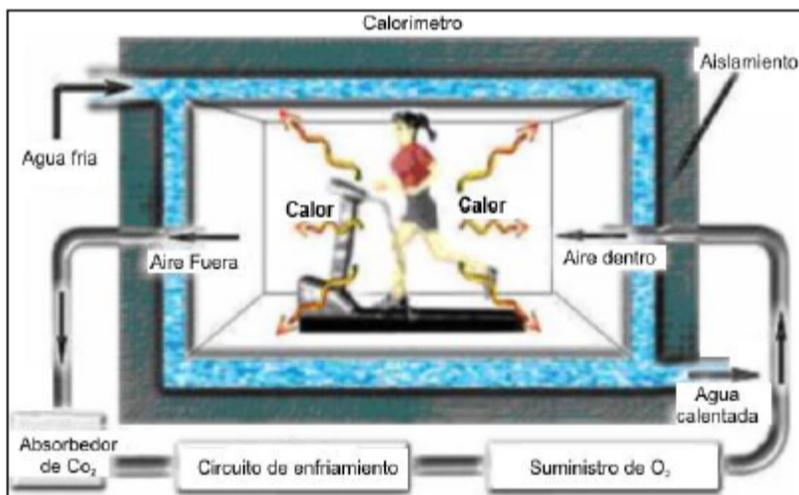


Figura 21. Cámara calorimétrica (tomada de Wilmore y Costill, 1998).

Los profesores W.O. Atwater y E.B. Rosa en 1890 construyeron y perfeccionaron el primer calorímetro humano de importancia científica (McArdle et al, 2005).

Sus experiencias que relacionaban las entradas de energía con los gastos energéticos, verificaron con éxito la ley de la conservación de la energía y validaron la relación entre la calorimetría directa e indirecta. Los experimentos duraban desde varias horas hasta 13 días. Pero la lenta generación de datos que produce la cámara calorimétrica no permite el estudio del metabolismo energético durante el ejercicio intenso, esto unido al alto costo de construcción de éstas cámaras y a las complicaciones de operatividad que presentan (su funcionamiento requiere de 16 personas que trabajan en equipos de 8 durante turnos de 12 horas) hacen que su uso en la actualidad sea escaso. Desde hace varias décadas, se ha desarrollado otra metodología para deducir el gasto energético indirectamente a partir del intercambio metabólico gaseoso.

Calorimetría Indirecta

Debido a que más del 95% de la energía gastada por el cuerpo deriva de las reacciones del oxígeno con los diferentes alimentos, y como las cantidades de oxígeno y dióxido de carbono intercambiados en los pulmones normalmente igualan a las intercambiadas en los tejidos; a través de la recolección de los gases espirados puede obtenerse el consumo calórico. La medición del consumo de oxígeno de una persona durante el reposo o el ejercicio en estado estable permite a los evaluadores obtener un cálculo indirecto, aunque exacto, del gasto energético. Este método de

estimación del consumo energético se llama calorimetría indirecta por que la producción de calor no se mide directamente, sino que se estima a partir del consumo de oxígeno. La calorimetría indirecta proporciona un método relativamente sencillo y menos costoso en comparación con la calorimetría directa.

La técnica más utilizada para la valoración del consumo de oxígeno es la espirometría de circuito abierto. En este procedimiento una persona inhala aire ambiental, el cual a nivel del mar, posee una composición constante de:

- Oxígeno (20,93%),
- Dióxido de Carbono (0,03%) y,
- Nitrógeno (70,04%)

La fracción de nitrógeno incluye también una pequeña cantidad de gases inertes. Las variaciones de los porcentajes de oxígeno y dióxido de carbono entre el aire espirado y el aire ambiental inspirado refleja el metabolismo energético. De esta forma, el análisis de dos factores, el volumen de aire inspirado durante un período de tiempo determinado y la composición del aire exhalado, miden el consumo de oxígeno y de ahí se calcula el gasto energético. Ahora bien, ¿de que manera puede calcularse cuántas kilocalorías se liberan a partir de una determinada cantidad de oxígeno consumido?. Se ha descrito que por cada litro de oxígeno consumido son liberadas aproximadamente 5 kcal. Por ejemplo, una persona que se ejercite con un consumo de oxígeno de 2 lts. · min⁻¹ durante 40 minutos, consumirá una cantidad total de 80 litros de oxígeno durante la actividad. Sabiendo que por cada litro de oxígeno consumido se liberan 5 kilocalorías, el gasto calórico del ejercicio será de 400 kilocalorías totales.

Cociente Respiratorio

La liberación energética a partir de la oxidación completa de los átomos de carbono e hidrógeno de las grasas y carbohidratos formará agua y dióxido de carbono. Teniendo en cuenta que las concentraciones de C, H y O difieren en estos nutrientes, la cantidad de oxígeno para oxidar a cada uno de ellos también variará. Para entender mejor este concepto vamos a decir que, para oxidar completamente a un determinado nutriente la cantidad de oxígeno que se debe consumir debe ser suficiente para, que:

1. Por cada 2 átomos de hidrógeno (H₂) que contenga el sustrato se produzca una molécula de agua (H₂O), y
2. Por cada átomo de carbono (C) que tenga el sustrato se obtenga una molécula dióxido de carbono (CO₂).

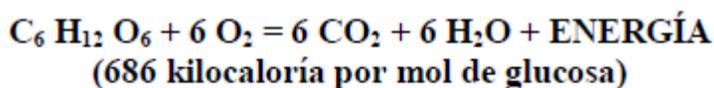
Por ello, el sustrato que se metabolice (por ejemplo: grasas o carbohidratos) determina la cantidad de dióxido de carbono que se produce en relación con el oxígeno que se consume. El cociente respiratorio muestra la relación descrita de la siguiente manera:

$$\text{Cociente Respiratorio} = \frac{\text{CO}_2 \text{ producido}}{\text{O}_2 \text{ consumido}}$$

El cociente respiratorio es independiente para cada tipo de sustrato y es útil para conocer que tipo de nutrientes están siendo oxidados, ya sea en reposo o durante el ejercicio.

Cociente Respiratorio para los Carbohidratos

Sigamos el siguiente ejemplo, la glucosa (C₆, H₁₂, O₆) contiene 6 átomos de carbono, 12 de hidrogeno y 6 de oxígeno. Debido a que la proporción existente entre átomos de hidrógeno y de oxígeno en todos los carbohidratos es siempre igual a la del agua, es decir 2 a 1, todo el oxígeno consumido por las células es utilizado para la oxidación de los átomos de carbono de la molécula del a CO₂ (dióxido de carbono) como se muestra a continuación:



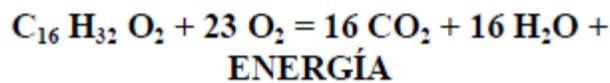
En este caso por cada molécula de CO₂ producido se consume una molécula de oxígeno, por lo tanto el valor del cociente respiratorio (R) será de:

- $R = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$
- $R = 6 \text{CO}_2 / 6 \text{O}_2$
- $R = 1$

Cociente Respiratorio para los Ácidos Grasos

A diferencia de los hidratos de carbono, los lípidos poseen una menor cantidad de átomos de oxígeno en relación con los átomos de hidrógeno. Es por ello que la oxidación total de estos

sustratos va a requerir el consumo de una mayor cantidad de oxígeno respecto al oxígeno que requieren los carbohidratos para oxidarse completamente. No obstante, como fuera descrito anteriormente existen diferentes tipos de ácidos grasos con diferentes composiciones químicas en el organismo humano. Por ello tanto el consumo total de oxígeno, como la producción de dióxido de carbono variarán de acuerdo al ácido graso en particular que se este oxidando. Debido a que el ácido graso más abundante en el organismo humano es el palmítico (C₁₆ H₃₂ O₂), analizaremos su oxidación. Siguiendo los puntos anteriormente mencionados para la oxidación de este ácido graso se deberán formar 16 moléculas de CO₂ y 16 de H₂O. Para la constitución de 16 moléculas de dióxido de carbono se deberán consumir 15 O₂ debido a que ya existe 1 O₂ en el ácido graso, y para la formación de 16 moléculas de agua se necesitarán consumir 8 O₂ debido a que no queda oxígeno en el ácido palmítico, haciendo un total de 23 O₂ para la oxidación total de este ácido graso. Por lo tanto:



En este caso el valor del cociente respiratorio para el ácido palmítico será de:

- $R = \text{VCO}_2/\text{VO}_2$
- $R = 16\text{CO}_2/23\text{O}_2$
- $R = 0,69$.

Cociente Respiratorio para las Proteínas

En el organismo las proteínas no se oxidan sencillamente a dióxido de carbono y agua durante el metabolismo energético debido a que en su estructura contienen nitrógeno, el cual no puede oxidarse a las moléculas mencionadas anteriormente. Por ello, los aminoácidos (monómeros constituyentes de las proteínas) primero sufren un proceso denominado desaminación, en el que pierden el nitrógeno el cual terminará formando urea. Pero debido a que a través de la espirometría de circuito abierto no puede medirse la cantidad de urea producida, en la calorimetría indirecta el valor del cociente respiratorio obtenido no contabiliza la oxidación de las proteínas. Para medir la contribución de las proteínas al metabolismo energético se debería proceder al análisis de nitrógeno urinario.

Es importante notar que, ya sea durante el ejercicio o durante el reposo, el organismo humano siempre oxida una mezcla de nutrientes a la vez, y nunca oxida selectivamente a sólo uno de estos nutrientes en particular. Por tanto, la valoración del cociente respiratorio generalmente muestra una mezcla en la oxidación de grasas y carbohidratos con un valor intermedio entre 0,7 y 1,0. La Tabla 3, muestra diferentes valores de cocientes respiratorios no proteicos, las kilocalorías liberadas por litro de oxígeno consumido, el porcentaje de oxidación grasas y carbohidratos y los gramos de carbohidratos y grasas oxidados por litro de oxígeno.

Cociente Respiratorio no proteico	Kilocalorías por litro de oxígeno consumido	Kilocalorías (%) procedentes de		Gramos por litro de oxígeno consumido de	
		Carbohidratos	Grasas	Carbohidratos	Grasas
0,70	4,686	0	100	0,000	0,496
0,71	4,690	1,1	98,9	0,012	0,491
0,72	4,702	4,8	95,2	0,051	0,476
0,73	4,714	8,4	91,6	0,900	0,460
0,74	4,727	12,0	88,0	0,130	0,444
0,75	4,739	15,6	84,4	0,170	0,428
0,76	4,750	19,2	80,8	0,211	0,412
0,77	4,764	22,8	77,2	0,250	0,396
0,78	4,776	26,3	73,7	0,290	0,380
0,79	4,788	29,9	70,1	0,330	0,363
0,80	4,801	33,4	66,6	0,371	0,347
0,81	4,813	36,9	63,1	0,413	0,330
0,82	4,825	40,3	59,7	0,454	0,313
0,83	4,838	43,8	56,2	0,496	0,297
0,84	4,850	47,2	52,8	0,537	0,280
0,85	4,862	50,7	49,3	0,579	0,263
0,86	4,875	54,1	45,9	0,621	0,247
0,87	4,887	57,5	42,5	0,663	0,230
0,88	4,887	60,8	39,2	0,705	0,213
0,89	4,911	64,2	35,8	0,749	0,195
0,90	4,924	67,5	32,5	0,791	0,178
0,91	4,936	70,8	29,2	0,834	0,160
0,92	4,948	74,1	25,9	0,877	0,143
0,93	4,961	77,4	22,6	0,921	0,125
0,94	4,973	80,7	19,3	0,964	0,108
0,95	4,985	84,0	16,0	1,008	0,090
0,96	4,998	87,2	12,8	1,052	0,072
0,97	5,010	90,4	9,6	1,097	0,054
0,98	5,022	93,6	6,4	1,142	0,036
0,99	5,035	96,8	3,2	1,182	0,018
1,00	5,047	100	0	1,231	0,000

Tabla 3. Porcentajes y Gramos de oxidación de carbohidratos y grasas para diferentes cocientes respiratorios no proteicos. Tomada de McArdle et al, 2005.