

¿QUÉ ES Y PARA QUÉ SIRVE?

El consumo de oxígeno

Empleado habitualmente como referencia acerca de la capacidad para hacer ejercicio de resistencia, conocer el fundamento fisiológico del consumo de oxígeno puede ayudar a entender mejor su utilidad en el deporte.



Dr. San Miguel Bruck

Centro de Medicina Deportiva y Fisioterapia Oberón -Madrid-

El consumo de oxígeno (expresado habitualmente como VO_2) refleja, sencillamente, la cantidad de oxígeno que utiliza o consume el organismo. En reposo, el consumo de oxígeno es de aproximadamente 3,5 mililitros de oxígeno por kilogramo de peso y por minuto (3,5 ml/kg/min), de manera que una persona de 75 kilogramos consume aproximadamente $3,5 \times 75 = 262,5$ mililitros de oxígeno por minuto en reposo, lo que representa cerca de 400 litros de oxígeno cada día.

El consumo de oxígeno se relaciona directamente con las necesidades de energía, de forma que al hacer ejercicio el organismo necesita más oxígeno para la obtención metabólica de energía, a partir de los sustratos energéticos (azúcares y grasas): a mayor demanda de energía, mayor consumo de oxígeno. Así, el consumo de oxígeno en deportistas puede alcanzar valores máximos tan elevados como 80 ml/kg/min, es decir, casi 23 veces el valor de reposo. Para entender los factores fisiológicos que intervienen en el consumo de oxígeno podemos recordar el ciclo del oxígeno: desde las vías respiratorias pasa a la sangre y se transporta a los tejidos (donde participa en la obtención de energía dentro de la mitocondria). El dióxido de carbono producido por el metabolismo celular es transportado siguiendo el camino inverso hasta los pulmones para su eliminación.

¿Qué es el consumo de oxígeno?

De acuerdo con las ecuaciones de Fick, el consumo de oxígeno depende de la capacidad

del corazón y los tejidos para extraer el oxígeno, según la siguiente fórmula:

$$VO_2 = GC \times D(a-v)O_2$$

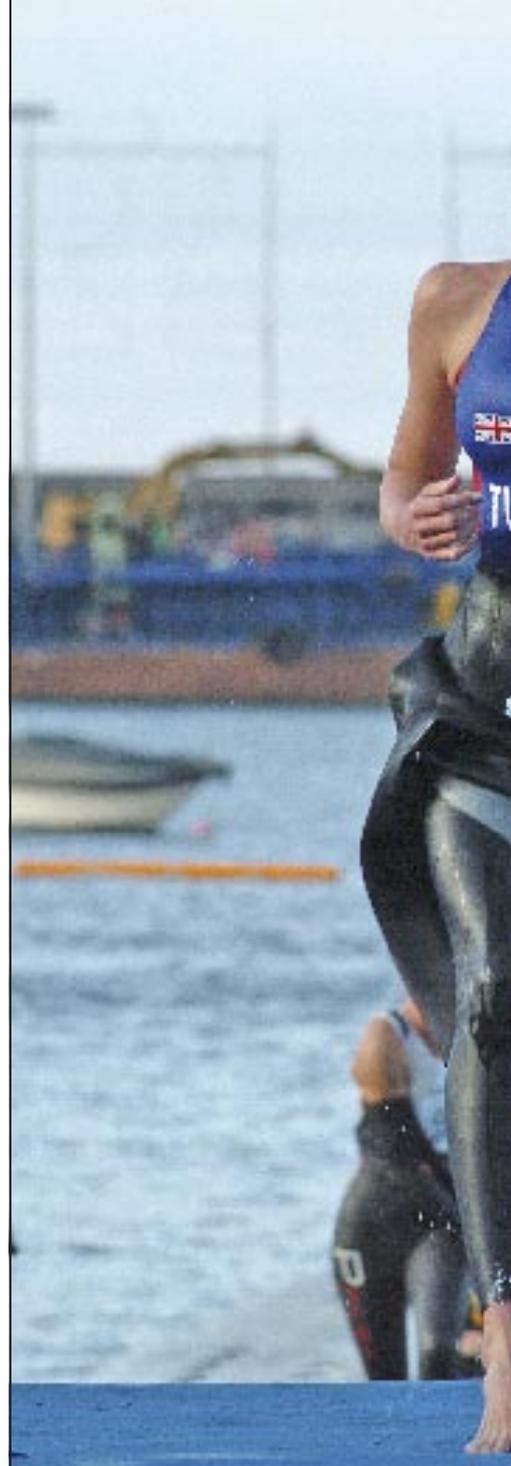
GC es el gasto cardíaco, que depende de la frecuencia cardíaca (latidos por minuto) y de la capacidad del corazón (volumen sistólico). Cuanto mayor es la frecuencia cardíaca y la capacidad (el tamaño) del corazón, mayor es el consumo de oxígeno.

D(a-v) O_2 es la diferencia arterio-venosa de oxígeno, que representa la capacidad de los tejidos para extraer el oxígeno de la sangre. Cuanto mayor sea la diferencia de oxígeno entre arterias y venas, mayor la cantidad de oxígeno que queda en los tejidos.

Por consiguiente, para mejorar el consumo de oxígeno (con lo que llegará más oxígeno a los tejidos y se facilitará la obtención de energía) deberían mejorarse:

1. **La frecuencia cardíaca.**
2. **El tamaño del corazón.**
3. **La capacidad de los tejidos para obtener oxígeno de la sangre.**

1. La mejora de la frecuencia cardíaca está limitada por varios factores, de los cuales la edad es uno de los más importantes. A mayor edad, menor frecuencia cardíaca máxima (en base a la discutida fórmula $FC_{m\acute{a}x} = 220 - \text{edad}$: para una persona de 30 años sería 190 latidos por minuto (lpm); y para una persona de 50 años, 170 lpm.



La importancia del peso corporal

El consumo de oxígeno suele expresarse en litros de oxígeno por minuto (lo que se denomina consumo de oxígeno absoluto) o en mililitros de oxígeno por kilogramo de peso y por minuto (consumo de oxígeno relativo). Un deportista con un consumo absoluto de 4 litros/min. y 80 kg. de peso tendrá un consumo relativo de 50 ml/kg/min.; y el mismo deportista con 75 kg. tendrá un consumo relativo de 53 ml/kg/min. En el segundo caso, cada kg. de su organismo recibiría tres mililitros más de oxígeno cada minuto, que bien aprovechado en el interior de la mitocondria puede ser una diferencia notable en el rendimiento deportivo (siempre que la disminución de peso se produzca a expensas de peso graso, sin perder músculo).

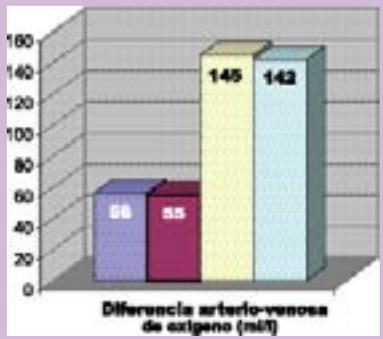
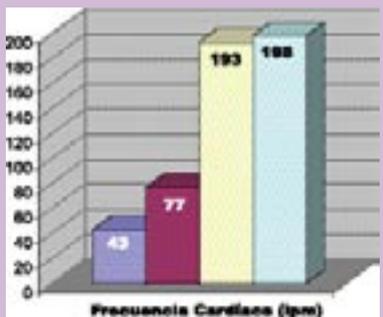
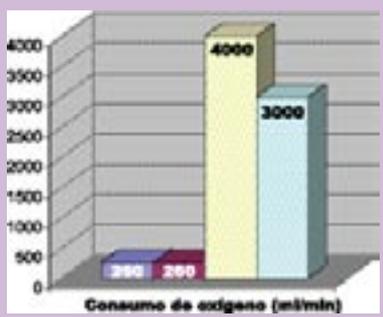




Valores generales

En reposo, el consumo de oxígeno es similar en las personas entrenadas y no entrenadas, aunque la frecuencia cardíaca de los primeros es menor al ser mayor la cantidad de sangre impulsada por el corazón en cada latido. El consumo de oxígeno es mayor durante el ejercicio en las personas entrenadas, fundamentalmente gracias a un mayor volumen de sangre por latido (volumen sistólico), mientras que las frecuencias cardíacas y la diferencia arteriovenosa son muy similares durante el ejercicio tanto en entrenados como en no entrenados.

■ ENTRENADO EN REPOSO
■ NO ENTRENADO en reposo
■ ENTRENADO durante el ejercicio
■ NO ENTRENADO durante el ejercicio



Además, la frecuencia cardíaca no puede aumentar indefinidamente, ya que a frecuencias cardíacas muy rápidas el corazón "no tiene tiempo" de llenarse y vaciarse por completo. Por lo tanto, la frecuencia cardíaca no puede aumentar demasiado para mejorar el consumo de oxígeno.

2. En lo que respecta al tamaño del corazón, cuanto más grande es, más sangre impulsa en cada latido (volumen sistólico), con lo que llega más sangre rica en oxígeno a los tejidos. Si una persona sedentaria puede impulsar en cada latido del corazón 60 mililitros de sangre, una persona entrenada puede llegar a más de 100 mililitros, es decir, casi el doble.

Como la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre (merced a la hemoglobina) es de aproximadamente 21 ml. de oxígeno cada 100 mililitros de sangre, el sujeto sedentario podrá poner en circulación 882 ml. de oxígeno con 70 latidos, mientras que el sujeto entrenado dispondrá también de 882 ml... con sólo 42 latidos. Es decir, que el sujeto entrenado ha ganado en "eficacia cardíaca": al ser más grande y tener mayor capacidad, necesita menos latidos para enviar la misma cantidad de oxígeno a los tejidos.

3. Por último, la mejora en la capacidad de los tejidos para extraer el oxígeno de la sangre es un factor menos estudiado en el campo de la fisiología del ejercicio que la adaptación del corazón, por lo que quedan numerosas incógnitas sin resolver. Al parecer, la mejora producida por el entrenamiento es lenta y muy condicionada por factores genéticos, por lo que es difícil conseguir una gran mejora del consumo de oxígeno en base a una mejora en la extracción de oxígeno en los tejidos.

¿Cómo se determina el consumo de oxígeno máximo?

El consumo de oxígeno máximo define la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo.

Su determinación ayuda a establecer, además de otros parámetros como los umbrales aeróbico y anaeróbico, la capacidad de ejercicio aeróbico del individuo. De entre los métodos empleados el más fiable es el análisis directo de los gases utilizados durante el ejercicio, originalmente definido por Wasserman y McLroy en los años '60.

Para ello se realiza una prueba de esfuerzo incremental (realizando cada vez un ejercicio más intenso: en un tapiz, aumentando a intervalos regulares la velocidad y/o la pendiente) mientras se analiza la respuesta cardíaca (mediante el electrocardiograma) y la respuesta respiratoria (mediante un analizador de gases, O₂ y CO₂).

Analizando los datos obtenidos se determina el consumo máximo de oxígeno, además de otros datos de gran interés en el rendimiento deportivo, como los umbrales aeróbico y anaeróbico.