

# ERRORES A EVITAR EN LA DETERMINACION DEL CONSUMO MAXIMO DE OXIGENO $VO_{2max}$

El consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) es un criterio individual clásico de aptitud aerobia. Se define como la cantidad máxima de oxígeno que una persona puede captar por los pulmones, transportar en el aparato cardiovascular y la sangre y utilizar en los músculos esqueléticos, y se mide mediante el análisis de los gases espirados durante un ejercicio de intensidad creciente.

Los valores de  $VO_{2max}$  obtenidos durante las pruebas realizadas en los laboratorios y servicios especializados pueden ser variables. El enunciado de estas posiciones de consenso pretende limitar los errores de las mediciones de  $VO_2$  efectuadas durante el ejercicio de intensidad máxima con análisis del intercambio gaseoso en personas sanas, sean o no deportistas.

## 1. Debe emplearse una terminología estricta

El consumo máximo de oxígeno se define como la ausencia de aumento de  $VO_2$  pese al incremento de la carga de trabajo al final de una prueba de esfuerzo de intensidad creciente.

Pico de  $VO_2$ : valor máximo de  $VO_2$  registrado a partir de valores medios en 30 segundos al final de una prueba de esfuerzo de intensidad creciente.

La potencia aerobia máxima (PAM) es la primera potencia a partir de la cual la  $VO_2$  no aumenta ya de forma significativa o comienza a estabilizarse.

La potencia máxima tolerada (PMT) es, por definición, el último nivel de potencia alcanzado y mantenido durante al menos 30 segundos.

## 2. El papel del ergómetro

Los tres tipos principales de ergómetros utilizados en el laboratorio (tapiz rodante, bicicleta ergonómica y ergómetro de brazos) ofrecen ventajas e inconvenientes y tienen sus propias indicaciones:

- el ejercicio en el tapiz rodante estará limitado en esencia por factores cardiovasculares o metabólicos. Los ergómetros de este tipo siguen siendo costosos, ruidosos, necesitan un gran espacio, conllevan riesgo de caídas y dificultan la vigilancia cardíaca o la obtención de muestras de sangre venosa;
- la bicicleta ergonómica es menos costosa, ocupa poco espacio y permite asegurar una vigilancia médica más fácil del sujeto. Sin embargo, su utilización reduce en un 7 a 10% los valores medidos de  $VO_{2max}$ ;
- los ergómetros de brazos se utilizan actualmente para explorar a personas que practican disciplinas basadas fundamentalmente en el uso de los miembros superiores o en los paraplégicos. En la población normal, los valores de  $VO_{2max}$  medidos equivalen por lo general al 70% de los obtenidos durante el ejercicio en tapiz rodante.

## 3. Tipos de espirómetros

Existen dos tipos fundamentales de sistemas, el método llamado de los sacos de Douglas y el de cámara de mezcla o en ciclo a ciclo). Este último es el más utilizado para esfuerzos máximos con aumentos de potencia de duración breve.

Las determinaciones de los flujos ventilatorios se realizan por medio de un espirómetro de agua de gran capacidad o de sensores (neumotacógrafos de Fleisch

o de Lilly, o tubos de Pitot). Todos estos sensores requieren calibración, y la graduación debe hacerse a tamaño real y con aire ambiental. Es preciso comprobar la linealidad haciendo calibraciones de distintos flujos, pequeños (@ 1 l/s), medianos (@ 3 l/s) y grandes (@ 10 l/s). Lo ideal es calibrar el sensor de flujo con la línea de recogida de la muestra colocada. Por otro lado, los problemas de estanqueidad del sistema aconsejan utilizar la boquilla y la pinza nasal mejor que la mascarilla buconasal en las pruebas de esfuerzo de corta duración.

Las mediciones de las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se realizan con un solo aparato (que mida los dos gases, como el espectrómetro de masas) o con aparatos específicos para cada uno de los dos gases. Deben conocerse perfectamente el principio (polarografía, óxido de zirconio, paramagnético para O<sub>2</sub>, infrarrojo para CO<sub>2</sub>), la precisión (absoluta y relativa) y el tiempo de respuesta (tiempo de tránsito desde la toma de la muestra del gas en la boca hasta la medición de ese gas) de estos analizadores.

El ajuste de los analizadores de gases se lleva a cabo antes de cada exploración con dos mezclas diferentes: aire ambiental y gases de referencia, cuyas concentraciones son próximas a las del aire espirado (O<sub>2</sub> 15%; CO<sub>2</sub> 5%).

Los aparatos deben haberse puesto en marcha al menos 45 minutos antes de la exploración (tiempo de calentamiento de los analizadores). Debe procederse a la calibración y ajuste antes de cada medición, y también después de la exploración, si existe alguna duda acerca de los resultados. Antes de iniciar el esfuerzo, la observación de los parámetros respiratorios en la fase de reposo puede permitir detectar las anomalías de funcionamiento: cociente respiratorio demasiado alto, VO<sub>2</sub> en reposo excesiva o demasiado baja para la persona explorada... También resulta útil comprobar periódicamente el funcionamiento del espirómetro haciendo una serie de mediciones en un sujeto de referencia del laboratorio.

El control de los aparatos de medición de la VO<sub>2</sub> también puede realizarse con un aparato que reproduzca el comportamiento respiratorio de una persona, desde el reposo hasta el esfuerzo máximo. Ya existen aparatos de este tipo en el mercado.

#### 4. Influencia del protocolo de esfuerzo

Para caracterizar el protocolo de esfuerzo deben tomarse en consideración cuatro parámetros, dos de los cuales son comunes a los dos ergómetros más utilizados: el carácter continuo o discontinuo del ejercicio y su duración total. Además, en la bicicleta ergonómica habrá que definir el aumento de la carga en cada etapa (incremento) y la frecuencia de pedaleo. En el tapiz rodante, deben tenerse en cuenta la pendiente inicial y su incremento, así como la velocidad y su aumento.

Carácter continuo o discontinuo: excepto cuando sea necesario hacer interrupciones entre las etapas (obtención de muestras de sangre), parece más lógico emplear protocolos de ejercicio continuo.

Duración total del esfuerzo: cuando el ejercicio se mantiene durante 8 a 20 minutos, la duración del mismo no influye en la determinación de la VO<sub>2</sub>max. Por el contrario, los ejercicios demasiado largos o demasiado cortos subestiman los valores de VO<sub>2</sub>max medidos.

Aumento de la carga en la bicicleta (incremento): el incremento no modifica las medidas de la VO<sub>2</sub>max. Por el contrario, es importante especificar la presencia e intensidad del calentamiento previo; la intensidad del mismo debe ajustarse en función del nivel deportivo de los sujetos, pero por lo general no debe ser superior al 30% de la PMT.

La frecuencia de pedaleo influye en la medición de la VO<sub>2</sub>max, por lo que debe

ajustarse y establecerse antes de iniciar la prueba en función del nivel de aptitud del sujeto y de la disciplina deportiva que practique.

Pendiente del tapiz y aumento de la velocidad: igual que en la bicicleta, el perfil de los ejercicios continuos realizados en tapiz rodante no influye en la medición de la VO<sub>2</sub>max. La pendiente sí influye, aunque sólo en situaciones extremas.

#### 5. Criterios de consecución de la VO<sub>2</sub>max:

En la actualidad, los criterios de obtención de la VO<sub>2</sub>max siguen siendo objeto de controversia.

Meseta de la VO<sub>2</sub>: desde hace mucho tiempo, se utiliza el concepto de meseta o de simple aplanamiento de la curva de VO<sub>2</sub> como criterios principales de obtención de la VO<sub>2</sub>max. En la observación de dicha meseta influyen de forma determinante tanto el protocolo utilizado como el método de análisis de gases empleado. Sin embargo, estos criterios son demasiado inconstantes para ser los únicos a valorar, lo que ha llevado a proponer otros tres criterios "clásicos".

Otros criterios:

Puede proponerse un valor del cociente respiratorio (CR) comprendido entre 1,01 y 1,11 como uno de los criterios de obtención de la VO<sub>2</sub>max. El valor de CR aplicado será tanto mayor cuanto más joven sea el sujeto y más entrenado esté en resistencia;

- La lactatemia al final del esfuerzo varía con el protocolo utilizado, la edad del sujeto, su grado de entrenamiento y su especialidad deportiva. Pese a estas variaciones, las concentraciones de lactato en la sangre iguales o superiores a 6-8 mmol/l al final del esfuerzo pueden proponerse como criterio de consecución de la VO<sub>2</sub>max;
- La frecuencia cardiaca máxima (FCmax) desciende con la edad, pero también depende de los ergómetros y protocolos de esfuerzo utilizados. Por sí sola, la FCmax no puede considerarse un criterio de consecución de la Vo<sub>2</sub>max.;
- El grado de agotamiento del sujeto puede ser un criterio adicional interesante.

#### 6. Conclusiones

Como cualquier otro parámetro biológico, las medidas del consumo máximo de oxígeno presentan cierta variabilidad. Con objeto de limitar dicha variabilidad, conviene respetar ciertas normas, algunas de las cuales se han expuesto en los párrafos anteriores. El seguimiento de los ergoespirómetros sigue siendo de la mayor importancia, y resulta útil comprobar su funcionamiento haciendo que una persona de referencia del laboratorio realice pruebas de esfuerzo periódicamente con el mismo protocolo que se aplicará a la exploración.

La determinación de la VO<sub>2</sub>max se basa en la observación de determinados criterios, uno de los cuales es un CR máximo comprendido entre 1,01 y 1,11, una lactatemia al final del ejercicio superior a 6-8 mmol/l y un estado de agotamiento aparente del sujeto explorado.