

Monograph

¿Pueden la Potencia Aeróbica y Anaeróbica ser Medidas con un Test Máximo de 60 Segundos?

M. Richardson² y Daniel G Carey¹¹University of St. Thomas, St. Paul, Minnesota, Estados Unidos.²University of Alabama, Tuscaloosa, AL, Estados Unidos.

RESUMEN

El principal objetivo de este estudio fue valorar la eficacia de medir tanto la potencia aeróbica como la anaeróbica con un test máximo de 60 segundos. Se hipotetizó que el consumo de oxígeno se incrementa rápidamente durante un esfuerzo máximo y que el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) puede ser alcanzado en un minuto. Quince ciclistas competitivos pertenecientes a la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos realizaron los siguientes tests: 1) un test máximo de 60 segundos a modo de práctica; 2) un test progresivo estándar para determinar el VO_2 máx.; 3) un test de Wingate para determinar la potencia anaeróbica (WAT); 4) un test de esfuerzo máximo de 60 seg para medir el VO_2 (60-SEC); y 5) un test de esfuerzo máximo de 75 seg para medir el VO_2 (75-SEC). Todos los tests fueron realizados en un cicloergómetro con cupla electrónica. Para determinar el porcentaje de grasa corporal se utilizó el pesaje hidrostático. Los valores para el pico de consumo de oxígeno para los test 60-SEC (53.4 ml/kg/min, 92% VO_2 max.) y 75-SEC (52.6 ml/kg/min, 91% VO_2 max.) fueron significativamente menores que el VO_2 máx. (58.1 ml/kg/min). Durante el test 75-SEC, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de VO_2 máx. entre los 30 y los 75 segundos, demostrando un efecto de meseta. No se observaron diferencias significativas en el pico de potencia o en el pico relativo de potencia entre los tests de Wingate, 60-SEC y 75-SEC mientras que, como se esperaba, la potencia media, la potencia media relativa y el índice de fatiga fueron significativamente diferentes entre los tests. Las mediciones de la potencia estuvieron altamente correlacionadas entre los tres tests. Se concluyó que el VO_2 máx. no fue alcanzado ni con el test 60-SEC ni con el test 75-SEC. Además, las altas correlaciones observadas en la producción de potencia entre los tests WAT, 60-SEC y 75-SEC excluye la necesidad de realizar tests con una duración mayor a los 30 segundos para medir la potencia anaeróbica.

Palabras Clave: consumo máximo de oxígeno, Wingate

INTRODUCCION

La medición del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) ha sido aceptada desde hace ya tiempo como el “gold estándar” para la valoración de la aptitud cardiorrespiratoria. Se ha mostrado que esto está inversamente correlacionado (especialmente en competidores heterogéneos) con el tiempo de rendimiento en eventos de ciclismo de resistencia (Craig et al., 1993; Hopkins and McKenzie, 1994). También se ha demostrado una asociación con el tiempo de recuperación en eventos intermitentes de alta intensidad, atenuando la declinación en el rendimiento debido a la fatiga (DePampero and Margaria, 1968). El consumo máximo de oxígeno ha sido tradicionalmente medido utilizando protocolos progresivos, continuos o discontinuos realizados hasta el agotamiento. Generalmente se acepta que una meseta en el consumo máximo

de oxígeno con el incremento en la intensidad del ejercicio indica que se alcanzado el verdadero VO_2 máx., aunque no siempre se observa esta meseta.

En investigaciones recientes se ha intentado determinar si el VO_2 máx. puede ser alcanzado utilizando una carga de trabajo supramáxima durante un período de tiempo prescrito durante el cual el sujeto se fatiga y la producción de trabajo decrece. Si bien se ha reportado que el VO_2 máx se ha alcanzado en 60 segundos (Serresse et al., 1988) otros investigadores han hallado un rápido incremento en el consumo de oxígeno, pero han fallado en alcanzar valores de VO_2 máx. durante un test progresivo de ejercicio hasta el agotamiento (Gastin and Lawson, 1994a).

Para medir la capacidad anaeróbica se han utilizado una variedad de modos de evaluación, incluyendo carreras (Medbo and Sejerstad, 1985; Scott et al., 1991; Olesen et al., 1994) subir escaleras y ciclismo (Serresse et al., 1988; Withers et al., 1993; Gastin and Lawson, 1994a; 1994b; Craig et al., 1995). Sin embargo, el test mas frecuentemente citado como la evaluación estándar de la capacidad anaeróbica de el Test de Wingate de Potencia Anaeróbica de 30 segundos (WAT) (Vandewalle et al., 1985; Patton and Duggan, 1987; Bar-Or et al., 1988). El test de Wingate ha probado ser altamente confiable (Patton et al., 1985; Bar-Or et al., 1988) y tener una buena correlación con tests de potencia anaeróbica donde el modo de ejercicio es la carrera (Patton et al., 1985; Bar-Or et al., 1988; Scott et al., 1991). La evaluación de la potencia anaeróbica utilizando cicloergometría tiene las siguientes ventajas: 1) la posibilidad de una valoración continua durante el test; 2) la posibilidad de ajustar la potencia a medida que progresa el test en base a la fatiga del sujeto (la producción de la potencia se reduce a medida que se reduce la cadencia a un torque fijo); y 3) la posibilidad de realizar el análisis de gases en un sujeto que se encuentra en forma estacionaria.

Recientemente, varios investigadores han propuesto que la duración de un test para medir la capacidad anaeróbica debería ser mayor que 30 segundos, debido a que la deuda máxima de oxígeno acumulada continúa incrementándose luego de los 30 segundos (Hill and Scarborough, 1986; Medbo and Tabata, 1989; Withers et al., 1991; Gastin et al., 1994a; 1994b; Weber and Schneider, 2001). Esta deuda se define como la diferencia entre el consumo de oxígeno estimado a partir de una extrapolación lineal desde cargas submáximas hasta cargas supramáximas y el consumo de oxígeno medido realmente (Medbo et al., 1988). Si bien varios investigadores han respaldado la validez de utilizar esta medición en la valoración de la capacidad anaeróbica (Scott et al., 1991; Medbo and Tabata, 1993; Gastin and Lawson, 1994a; 1994b) otros la han refutado (Withers et al., 1993; Green et al., 1996; Bangsbo, 1998). Esto se debe a un incremento no lineal en el consumo de O_2 por encima del umbral anaeróbico (Bangsbo, 1998) o a la imposibilidad de esta técnica para distinguir entre atletas entrenados en resistencia y atletas entrenados en fuerza (Withers et al, 1993). Este último punto ha sido refutado por Scott et al. (1991), quienes hallaron diferencias significativas en la deuda máxima de oxígeno acumulada entre corredores de media y de larga distancia. La duración ideal de un test de esfuerzo máximo para valorar la capacidad anaeróbica por medio de la deuda máxima de oxígeno acumulada (MAOD) puede estar en el rango de los 1 a 2 minutos, aunque el 80% de la deuda acumulada máxima de oxígeno puede ser alcanzada dentro de los primeros 30 segundos de un test de esfuerzo máximo (Gastin and Lawson, 1994b).

El principal objetivo de este estudio fue valorar la eficacia de un test de esfuerzo máximo de un minuto de duración (60-SEC) para valorar tanto la potencia aeróbica como la potencia anaeróbica. Un segundo test de esfuerzo máximo de 75 segundos de duración (75-SEC) fue incluido en el protocolo de investigación por si el test de 60-SEC era de duración insuficiente para alcanzar el VO_2 máx. Si bien la valoración de la deuda máxima de oxígeno acumulada y la determinación de la duración óptima de un test para medir la capacidad anaeróbica están más allá de los alcances de este estudio, investigaciones previas respaldan la utilización de un test de esfuerzo máximo de 60 segundos, en lugar de un test de 30 segundos para la valoración de la capacidad anaeróbica (Scott et al., 1991; Withers et al., 1991; Medbo and Tabata, 1993; Gastin and Lawson, 1994a; 1994b; Weber and Schneider, 2001).

Dado que las investigaciones previas han mostrado un muy rápido incremento en el consumo de oxígeno, alcanzando en algunos casos el VO_2 máx. en 60 segundos (Serresse et al., 1988; Gastin and Lawson, 1994a), y que la capacidad anaeróbica podría medirse de una mejor manera con un test de 60 segundos que con un test de 30 segundos (Hill et al., 1986, Medbo and Tabata, 1989; Withers et al., 1991; Gastin and Lawson, 1994b; Weber and Schneider, 2001), este estudio fue diseñado para determinar si tanto la capacidad aeróbica como la anaeróbica podrían ser medidas con un único test de esfuerzo máximo de 60 segundos de duración. Los resultados de este estudio podrían, en efecto, eliminar la necesidad de que los sujetos realicen dos test independientes de esfuerzo máximo, y con esto reducir tanto los costos como la necesidad de dos tests de ejercicio, agotadores y fatigantes.

MÉTODOS

Participantes del Estudio

Las características físicas de los sujetos se muestran en la Tabla 1. Todos los participantes (n=15; n=13 hombres y n=2 mujeres; media±DE para la edad=33.2±8.6 años) eran ciclistas pertenecientes a la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos (USCF) quienes estaban a mediados de la temporada de competición en el momento de la recolección de los datos. Todos los ciclistas competían en eventos de resistencia que iban desde los 16 minutos a competiciones de ultra resistencia. De los 15 ciclistas, dos eran de categoría V, siete eran de categoría IV, cuatro eran de categoría III, y dos eran de categoría II, de acuerdo con la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos. En este sistema de clasificación, los ciclistas comienzan en la categoría V y progresan a las categorías IV y III en base a los resultados de sus carreras, número de carreras en las que participaron o una combinación de ambas. Los ciclistas avanzan a las categorías II y I solo en base a los resultados de las carreras. En el momento del estudio todos los ciclistas estaban corriendo carreras de competencia, participando en dos a doce carreras por mes las cuales incluían pruebas contra reloj, criteriums y carreras de ruta. Debido al pequeño número de mujeres participantes, los datos solo fueron analizados para el total de sujetos. Antes de la recolección de los datos fue obtenida la aprobación para la realización del estudio del Comité de Revisión Institucional (IRB) de la Universidad de St. Thomas.

	Hombres (n=13)	Mujeres (n=2)	Total (n=15)
Edad (Años)	32.9 (8.7)	35.0 (7.7)	33.2 (8.6)
Talla (m)	1.79 (.08)	1.65 (.08)	1.77 (.09)
Peso (kg)	78 (10)	57 (9)	75 (12)
FM (kg)	11.2 (4.3)	7.1 (4.4)	10.6 (4.4)
LBM (kg)	66.9 (7.3)	50.2 (4.6)	64.6 (9.0)
% Grasa Corporal §	13.6 (4.2)	12.0 (5.8)	13.4 (4.2)

Tabla 1. Mediciones descriptivas para los participantes del estudio. Los datos son medias (DE). Abreviaciones: FM=Masa Grasa, LBM=Masa Magra. § Determinado por pesaje hidrostático.

Protocolo del Estudio

Cada participante realizó tres visitas al Laboratorio de Rendimiento Humano de la Universidad de St. Thomas. Durante la visita uno, los sujetos completaron una breve historia de entrenamiento y carreras, leyeron y firmaron la forma de consentimiento y realizaron el test de esfuerzo máximo de 60 segundos para familiarizarse con la evaluación (FAM). El propósito del FAM fue evitar cualquier posibilidad de efecto de aprendizaje asociado con la realización de los tests de esfuerzo máximo (Martin et al., 2000). Los procedimientos para este test fueron idénticos a los utilizados durante la realización del test de 60-SEC que se describe más abajo. La segunda visita incluyó un test de ejercicio progresivo para medir el VO_2 máx, el Test Anaeróbico de Wingate para valorar la capacidad anaeróbica, y el pesaje subacuático para la medición de la masa grasa, la masa magra y el porcentaje de grasa corporal. El protocolo utilizado para valorar el VO_2 máx consistió de incrementos en la potencia de 25 watts cada un minuto hasta el agotamiento, comenzando con una carga de 25 watts. Durante la tercera visita, los participantes completaron los tests de 60-SEC y 75-SEC en orden aleatorio. Todos los tests de esfuerzo máximo estuvieron separados por un período de una hora de reposo. Cada participante completó los tests a la misma hora del día y dentro del período de una semana.

Tests de Esfuerzo Máximo

Los tests fueron realizados en un cicloergómetro con cupla electrónica (Lode BV, Groninger, The Netherlands). Los sujetos trajeron sus propios pedales y zapatos de ciclismo y tanto la altura del asiento como la posición del manubrio fueron ajustadas según las especificaciones de los sujetos. El análisis de gases fue realizado con un Sistema de Medición del Metabolismo Medical Graphics CPX-D (Medical Graphic Corp., St. Paul, Minnesota), el cual fue calibrado antes de cada test para el volumen, temperatura y presión ambiente y para la concentración de gases (12% O_2 , 5% CO_2). Para el test de VO_2 máx. se llevaron a cabo análisis de gases respiración por respiración promediando los datos cada 30 segundos. Para los tests de 60-SEC y 75-SEC, se llevaron a cabo análisis de gases respiración por respiración promediando los datos cada 3 segundos. El test progresivo para la medición del VO_2 máx. comenzó con una carga de 25 W la cual se incrementó en

25W cada un minuto hasta el agotamiento. Todos los sujetos cumplieron con dos de los tres siguientes criterios para considerar que se había alcanzado el VO_2 máx.: 1) alcanzar el 90% de la frecuencia cardíaca máxima estimada según la edad; 2) alcanzar una meseta en el consumo de oxígeno (una diferencia en el consumo de oxígeno menor a 150 ml/min entre las dos etapas finales); y 3) un cociente respiratorio (RQ) mayor de 1.1. Se determinó que el consumo máximo de oxígeno era el mayor VO_2 alcanzado en un intervalo de 30 segundos. La determinación de la resistencia óptima para la valoración tanto del pico de potencia como de la potencia media en los tests de 60-SEC y 75-SEC estuvo basada en investigaciones previas (Gastin et al., 1991), la cual fue de 0.75 g/kg para los hombres y 0.65 g/kg para las mujeres. Los valores medios para la resistencia, en los tests de 60-SEC y 75-SEC fueron 58.5 y 57.8 Newton•metros (N•m) para los hombres y las mujeres respectivamente (n=15). La resistencia para el test de Wingate fue estandarizada de acuerdo con las recomendaciones realizadas por los fabricantes (factor de torque para los hombres=0.8, factor de torque para las mujeres=0.77) lo cual resultó en un valor medio de 60.6 N•m. Las diferencias en el torque para los tres tests fueron relativamente pequeñas, pero significativas ($p<0.05$). La frecuencia cardíaca (Polar Electro, Woodbury, New York) fue medida en los últimos 5 segundos de cada etapa y en el momento del agotamiento para el test progresivo y al final de los tests de 60-SEC y 75-SEC.

Composición Corporal

La composición corporal fue determinada mediante pesaje hidrostático. El método de pesaje hidrostático ha sido previamente descrito (Foss et al, 1998). Los volúmenes residuales tanto para los hombres como para las mujeres fueron estimados utilizando ecuaciones específicas del sexo en concordancia con los métodos previamente determinados por Weidman et al. (1987). El porcentaje de grasa corporal fue estimado a partir de la densidad corporal utilizando la ecuación de Siri (Siri, 1956). La masa grasa fue calculada multiplicando el porcentaje de grasa corporal por el peso. La masa magra fue determinada sustruyendo la FM del peso corporal.

Análisis de los Datos

Las características físicas de los sujetos y los datos sobre su rendimiento se presentan como media (DE). Las diferencias en los valores del consumo de oxígeno entre el test progresivo para el VO_2 máx., el test de 60-SEC y el test de 75-SEC fueron evaluadas utilizando el análisis de varianza para mediciones repetidas (Statistix Analytical Software, Tallahassee, Florida). Las diferencias en las distintas mediciones de producción de potencia entre el test de Wingate, el test de 60-SEC y el test de 75-SEC fueron evaluadas utilizando el mismo programa de análisis estadístico. Cuando se hallaron diferencias significativas con el análisis de varianza, se realizaron test post hoc utilizando el factor de corrección de Bonferroni. Las relaciones entre los valores de producción de potencia alcanzados durante los test de VO_2 máx., de Wingate, de 60-SEC y de 75-SEC fueron evaluadas utilizando el Coeficiente de Correlación Momento Producto de Pearson. Se aceptó la significancia estadística a un nivel $p<0.05$.

RESULTADOS

Potencia Aeróbica

Las mediciones del esfuerzo para el test incremental de VO_2 máx., de 60-SEC y de 75-SEC, se muestran en la Tabla 2. La media de VO_2 máx. con el test progresivo (58.1 ml/kg/min) fue significativamente mayor que los valores medios de VO_2 máx. obtenidos durante los tests de 60-SEC (53.4 ml/kg/min, $p<0.0001$, $t=6.44$) y de 75-SEC (52.6 ml/kg/min, $p<0.0001$, $t=5.53$). No se observaron diferencias significativas entre la media de consumo de oxígeno alcanzada con el test de 60-SEC y la alcanzada con el test de 75-SEC ($p=0.407$, $t=0.85$). Si bien no hubo diferencias significativas en los valores del consumo de oxígeno entre los segundos 30 (87.0%) y 75 (91.0%) en el test de 75-SEC, los datos indican un ligero incremento en el consumo de oxígeno durante este período de tiempo (Tabla 3).

	Test de VO ₂ max.	Test de 60 seg.	Test de 75 seg.
Frecuencia Cardíaca Máxima (latidos/min)	190 (10)	181 (11) *	178 (12) *
Frecuencia Cardíaca Máxima Estimada (%)	101.6 (4.7)	95.3 (5.8)	93.7 (6.3)
VO₂ max. (ml/kg/min)	58.1 (5.6)	53.4 (4.7) *	52.6 (5.2) *
Ventilación Máxima (L/min)	167.4 (25.9)	162.6 (27.5)	164.9 (19.7)
Producción Máxima de CO₂ (ml/min)	5286 (656)	5840 (833) *	5549 (793) *
Cociente Respiratorio Máximo	1.24 (.06)	1.47 (.09) *	1.45 (.07) *
Carga Máxima (W)	388 (42)	1107 (212) *	1100 (198) *

Tabla 2. Mediciones del Esfuerzo (media \pm DE) para los test progresivos de VO₂ máx. de 60 seg., y 75 seg. Los datos son medias (DE). * denota $p < 0.05$ en comparación con el test de VO₂.

Intervalo de Tiempo	% VO ₂ max.
15 seg	72.3 (9.6)
30 seg	87.0 (5.2)
45 seg	89.5 (5.5)
60 seg	90.7 (5.3)
75 seg	91.0 (5.5)

Tabla 3. Cinética del oxígeno durante el test de 75-SEC mostrando el consumo de O₂ en intervalos de 15 segundos expresados como porcentaje del VO₂ máx. Los datos son medias (DE). Determinado durante el test progresivo. No se observaron diferencias significativas entre los segundos 30 y 75.

Potencia Anaeróbica

El pico medio de potencia (PP) ($p=0.01$) pero no la potencia media (MP) ($p=0.53$) fue significativamente mayor en el test de 60-SEC que en el FAM, respaldando la presencia de una curva de aprendizaje en la producción de la potencia máxima y justificando la utilización de una sesión de familiarización previa a la recolección real de los datos (Martin et al, 2000). En la Tabla 4 se muestran varios índices de la producción de potencia determinados con los tests de Wingate, 60-SEC y 75-SEC. Como se esperaba, la potencia media, la potencia media relativa y la potencia mínima fueron todas significativamente mayores en el test de Wingate en comparación con los tests de 60-SEC y 75-SEC. A la inversa, el índice de fatiga fue significativamente menor en el test de Wingate que en los tests de 60-SEC y 75-SEC. No se observaron diferencias significativas para el pico de potencia entre los tres tests. Para cada índice de potencia, hubo un alto grado de colinealidad entre los tests de Wingate, 60-SEC y 75-SEC (Tabla 5).

	Wingate	60-SEC Test	75-SEC Test
Pico de Potencia (Watts)	1118 (201)	1107 (212)	1100 (198)
Pico de Potencia Relativa (W/kg)	14.5 (2.0)*	14.8 (1.9)	14.7 (1.9)
Potencia Media (Watts)	720 (97)*	552 (76)	500 (66)
Potencia Media Relativa (W/kg)	9.5 (0.7)*	7.4 (0.6)	9.5 (.7)
Potencia Mínima (Watts)	485 (73.0)*	320 (48)	288 (55)
Índice de Fatiga (FI) (%)	55.7 (7.7)*	70.6 (4.9)	73.3 (5.4)

Tabla 4. Producción de potencia en los test de Wingate, 60-SEC y 75-SEC. Los datos son presentados como medias (DE). * Los valores en el test de Wingate son significativamente diferentes ($p < 0.05$) a los valores de los tests de 60-SEC y 75-SEC.

	PP (Watts)	PP Relativa (Watts/kg)	MP (Watts)	MP Relativa (Watts/kg)
Wingate vs. 60-SEC	0.82***	0.90***	0.81***	0.83***
Wingate vs. 75-SEC	0.80***	0.92****	0.74*	0.84***
60-SEC vs. 75-SEC	0.97****	0.93****	0.97****	0.97****

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson (*r*) entre los tests de Wingate, 60-SEC y 75-SEC. Abreviaciones: PP=Pico de Potencia, MP=Potencia Media *, **, **** denotan $p < 0.05$, 0.01 y 0.0001 , respectivamente.

La relación entre la potencia aeróbica (VO_2 máx.) y los diferentes índices de la producción de potencia valorados durante los tests de Wingate, 60-SEC y 75-SEC fueron pequeñas y estadísticamente no significativas, con excepción de la potencia media relativa para los tests de 60-SEC ($r=0.52$) y de 75-SEC ($r=0.53$). Si bien estos coeficientes de correlación fueron significativos, estos son relativamente bajos, y probablemente de poco valor práctico.

DISCUSION

El principal hallazgo de este estudio fue que durante los esfuerzos máximos de ciclismo de 60 y 75 segundos se alcanzaron solo el 92% y 91% respectivamente, del VO_2 máx. alcanzado durante una evaluación tradicional progresiva del VO_2 máx. Se debería señalar que si bien el 91.0% del VO_2 máx. fue alcanzado en 75 segundos, el 87% del VO_2 máx. fue alcanzado en solo 30 segundos. Esto muestra un rápido incremento inicial en el VO_2 , el cual rápidamente se estabiliza con el transcurso del tiempo. Estos resultados son: 1) casi idénticos a los obtenidos por algunos investigadores (Gastin et al., 1991, Withers et al., 1991), 2) algo mayores a los obtenidos por Withers et al. (1993) y 3) algo menores que los obtenidos por Serresse et al. (1988), quienes reportaron que se alcanzaba el VO_2 máx. en 60 segundos con esquiadores de cross country, biatletas, y esquiadores de velocidad, utilizando cicloergometría. Otros investigadores han propuesto que se requieren al menos 2 minutos de ejercicio supramáximo para alcanzar el VO_2 máx. (Astrand and Saltin, 1961).

Existen varias razones potenciales, las cuales pueden explicar porque en el presente estudio no se alcanzó el VO_2 máx. en 60 o 75 segundos. La siguiente discusión es especulativa por naturaleza y ofrece varias posibles explicaciones a estos hallazgos. La rápida acumulación de iones hidrógeno en el músculo, lo cual resulta en acidosis, puede haber perjudicado el alcance del VO_2 máx. (Hermanson, 1969). Los mayores niveles de lactato (32 mM/L) han sido observados en atletas bien entrenados durante la recuperación de eventos competitivos de aproximadamente un minuto de duración (Osnes and Hermansen, 1972), la cual es comparable con la duración de los tests de 60-SEC y 75-SEC utilizados en el presente estudio.

Durante los tests de 60-SEC y de 75-SEC se pudieron haber alcanzado menores gastos cardíacos, lo cual pudo haber contribuido a no alcanzar el VO_2 máx. Si bien el gasto cardíaco no fue valorado en el presente estudio, se puede estimar que este ha sido menor debido a las menores frecuencias cardíacas alcanzadas durante los tests de 60-SEC y de 75-SEC en comparación con el test progresivo de VO_2 máx. (Tabla 2). Se debería señalar que los porcentajes de VO_2 máx. alcanzados durante los tests de 60-SEC (92%) y de 75-SEC (91.0%) fueron similares a los porcentajes de las frecuencias cardíacas máximas alcanzadas durante estos tests (96% y 94% respectivamente, Tabla 2).

Pudo haber ocurrido una desaturación arterial de oxígeno debido a la fatiga respiratoria provocada por la hiperventilación prolongada, lo cual pudo haber perjudicado el alcance del VO_2 máx. Se ha demostrado que la hiperventilación incrementa el cociente entre el espacio muerto y el volumen corriente (Wasserman et al., 1986). Durante el test de 75-SEC, con excepción de una reducción significativa en la ventilación entre los segundos 60 y 75 (164.5 vs 159.5 litros por minuto), no se observaron diferencias significativas en el volumen corriente, la frecuencia respiratoria y en la ventilación entre los segundos 45 y 75, indicando una estabilización de estas variables en los últimos 30 segundos del test. La caída significativa en la ventilación entre los segundos 60 y 75 puede indicar fatiga respiratoria. Si bien la fatiga de los músculos respiratorios ha sido un tema controversial, aquellos estudios que han examinado la fatiga respiratoria durante el ejercicio progresivo han concluido que "los altos niveles de ventilación observados durante el ejercicio máximo no son mantenidos durante un tiempo suficiente como para resultar en un fallo mecánico" (Younes and Kivinen, 1984). En este estudio la ventilación máxima se mantuvo por un tiempo considerablemente largo, lo cual se determinó por el alcance de la ventilación máxima a los 30 segundos del test de 75-SEC. Las ventilaciones a los 30, 45, 60 y 75 segundos durante el test de 75-SEC no fueron significativamente diferentes de la ventilación máxima alcanzada durante el test de VO_2 máx. Sin

embargo, los volúmenes corrientes fueron significativamente menores ($p < 0.05$) y las frecuencias respiratorias fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) para todos estos intervalos durante el test de 75-SEC en comparación con los valores máximos alcanzados durante el test de $\text{VO}_2\text{máx}$. Esta hiperventilación durante el test de 75-SEC podría explicar el rápido y significativo ($p < 0.05$) incremento observado en la fracción final corriente de oxígeno (15.5%, 17.1%, 16.7%, y 16.5% a los 0, 30, 60, y 75 segundos, respectivamente). Estas respuestas podrían reflejar condiciones de intercambio de gases que posiblemente resultaron en un cierto grado de desaturación de la hemoglobina y redujeron la entrega de oxígeno a los músculos activos. Si bien hay estudios que han reportado que la desaturación de la hemoglobina ocurre en una minoría de atletas bien entrenados (Dempsey et al., 1984, Turcott et al., 1997, Wetter et al., 2001), estos estudios utilizaron ejercicios en condiciones estables a una intensidad submáxima, o ejercicios progresivos hasta el agotamiento, en contraste a la intensidad supramáxima utilizada en este estudio. Las razones de las discrepancias entre los resultados del presente estudio y los resultados del estudio de Serresse et al. (1988) quienes reportaron que el $\text{VO}_2\text{máx}$ se alcanzaba en 60 segundos, siguen siendo inciertas. Los diferentes resultados pueden deberse a diferencias en los protocolos de evaluación. Por ejemplo, Serresse afirma que "las diferencias pueden ser explicadas.... por la marcha en los primeros 20-30 segundos del test de 90 segundos". Esto está en contraste con el presente estudio, en el cual se realizó esfuerzo máximo inmediatamente al comienzo de los tests de 60-SEC y 75-SEC. La reducción del ritmo en los primeros segundos podría haber permitido un incremento gradual en el VO_2 lo cual hubiera simulado un protocolo progresivo.

Las correlaciones negativas obtenidas para el pico de potencia absoluta y la potencia media absoluta, en comparación con el $\text{VO}_2\text{máx}$, no son sorprendentes, dado que los sujetos de este estudio eran ciclistas entrenados en resistencia. Sin embargo, estas correlaciones negativas se volvieron ligeramente positivas cuando el pico de potencia y la potencia media se expresaron en forma relativa. Esto podría explicarse mejor por el hecho de que el peso corporal es incluido en ambas variables (el $\text{VO}_2\text{máx}$ expresado en ml/kg/min y la potencia en watts/kg). Los coeficientes de correlación de 0.629 y 0.764, en este grupo de sujetos, fueron obtenidos para comparar el pico de potencia por kg de peso corporal y la potencia media por kg de peso corporal.

Conclusión

A partir de los resultados de este estudio, se concluyó que la potencia aeróbica y la potencia anaeróbica no pueden ser medidas con un solo test supramáximo de 60 segundos. Si bien se podría especular que una duración de 60 segundos es tan corta que no es posible ir desde un consumo de oxígeno submáximo hasta los altos valores de consumo de oxígeno alcanzados por atletas bien entrenados en resistencia en este período de tiempo, el hecho de que el 87% del $\text{VO}_2\text{máx}$ puede ser alcanzado dentro de los 30 segundos de ejercicio podría indicar que existen otros factores operativos además del tiempo y que explican esta deficiencia para alcanzar el $\text{VO}_2\text{máx}$. Deberían llevarse a cabo estudios adicionales para determinar que mecanismos fisiológicos son los que operan en la deficiencia para alcanzar el verdadero $\text{VO}_2\text{máx}$ en períodos cortos de tiempo.

REFERENCIAS

1. Osnes, J. and Hermansen, L (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology* 32, 59-63
2. Patton, J., Murphy, M. and Frederick, F (1985). Maximal power outputs during the Wingate Anaerobic test. *International Journal of Sports Medicine* 6, 82-85
3. Patton, J. and Duggan, A (1987). An evaluation of tests of anaerobic power. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 58, 237-242
4. Scott, C., Roby, F., Lohman, T. and Bunt, J (1991). The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23, 618-624
5. Serresse, O., Lortie, G., Bouchard, C. and Boulay, M (1988). Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. *International Journal of Sports Medicine* 9, 456-460
6. Siri, W (1956). Gross composition of the body. In: *Advances in Biological and Medical Physics*. Eds: J.H. Lawrence and C.A. Tobias, Volume 4, New York, Academic Press
7. Turcott, R., Kiteala, J., Marcotte J. and Perrault, H (1997). Exercise-induced oxyhemoglobin desaturation and pulmonary diffusing capacity during high-intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 75, 425-430
8. Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J. and Monod, H (1985). All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers. *European Journal of Applied Physiology* 54, 222-229
9. Wasserman, K., Hansen, J., Sue, D. and Whipp, B (1986). Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia, Pa., Lea and Febiger. 34-35
10. Weber, C. and Schneider, D (2001). Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33, 1056-1059

11. Weidman, D., Tesch, J., Castek, J., Wilson, P. and Buckenmeyer, P (1987). A formula for the prediction of residual volume in males. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 19, S31 (abstract)
12. Wetter, T., St. Croix, C., Pegelow, D., Sonnetti, D. and Dempsey, J (2001). Effects of exhaustive endurance exercise on pulmonary gas exchange and airway function in women. *Journal of Applied Physiology* 9, 847-858
13. Withers, R., Sherman, W., Clark, D., Esselbach, P., Nolan, S., Mackay, M. and Brinkman, M (1991). Muscle metabolism during 30, 60, and 90s of maximal cycling on an air-braked ergometer. *European Journal of Applied Physiology* 63, 354-362
14. Withers, R., Van Der Ploeg, G. and Finn, J (1993). Oxygen deficits incurred during 45, 60, 75, and 90s maximal cycling on an air-braked ergometer. *European Journal of Applied Physiology* 67, 185-191
15. Younes, M. and Kivinen, G (1984). Respiratory mechanics and breathing pattern during and following maximal exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiratory and Environmental exercise Physiology* 57, 1773-1782
16. Astrand, P. O. and Saltin, B (1961). Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *Journal of Applied Physiology* 16, 971-976
17. Bangsbo, J (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 47-52
18. Bar-Or, O., Dotan, R. and Inbar, O (1988). A 30-sec all-out ergometric test: Its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal of Medicine and Science* 13, 326-327
19. Craig, N., Pyke, F. and Norton, K (1989). Specificity of test duration when assessing the anaerobic lactacid capacity of high-performance track cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 10, 237-242
20. Craig, N., Pyke, F., Norton, K., Bourdon, P., Woodford, S., Stanef, T., Squires, B., Oldis, T., Conyers, R. and Walsh, C. B (1993). Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 67, 150-158
21. Craig, N., Norton, K., Conyers, R., Woolford, S., Bourdon, P., Stone, T. and Walsh, C (1995). Influence of test duration and even specificity on maximal accumulated oxygen deficit of high performance track cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 16, 534-54
22. Dempsey, J., Hanson, P. and Henderson, K (1984). Exercise-induced arterial hypoxemia in healthy human subjects at sea level. *Journal of Physiology* 355, 161-175
23. DePampero, P. and Margaria, R (1968). Relationship between O₂ consumption, high energy phosphates, and the kinetics of the O₂ debt in exercise. *Pflüger Archive* 304, 11-19
24. Foss, M. and Keteyian, S (1998). Exercise, body composition, and weight control. In: *Physiological Basis for Exercise and Sport. 6th edition. WCB/McGraw-Hill, Boston. 422-446*
25. Gastin, P., Lawson, D., Hargreaves, M., Carey, M. and Fairweather, I (1991). Variable resistance loadings in anaerobic power testing. *International Journal of Sports Medicine* 12, 513-518
26. Gastin, P. and Lawson, D (1994). Variable resistance all-out test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology* 69, 331-336
27. Gastin, P. and Lawson, D (1994). Influence of training status on maximal accumulated oxygen deficit during all-out cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology* 69, 321-330
28. Green, S., Dawson, B., Goodman, C. and Carey, M (1996). Anaerobic ATP production and accumulated O₂ deficit in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28, 315-321
29. Hermanson, L (1969). Anaerobic energy release. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1, 32-38
30. Hill, D., Smith, J. and Scarborough, P (1986). Optimal exercise duration for determination of anaerobic capacity in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22, S34
31. Hopkins, S. and McKenzie, D (1994). The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Canadian Journal of Applied Physiology* 19, 266-274
32. Martin, J., Diedrich, D. and Coyle, E (2000). Time course of learning to produce maximum cycling power. *International Journal of Sports Medicine* 21, 485-487
33. Medbo, J. and Sejersted, O (1985). Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects. *Acta. Physiologica Scandinavica* 125, 97-109
34. Medbo, J., Mohn, A., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. and Sejersted, O (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology* 64, 50-60
35. Medbo, J. and Tabata, I (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *Journal of Applied Physiology* 67, 1881-1886
36. Medbo, J. and Tabata, I (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 to 3 minute of exhausting bicycling. *Journal of Applied hysiology* 75, 1654-1660
37. Olesen, H., Raabo, E., Bangsbo, J. and Secher, N (1994). Maximal oxygen deficit of spring and middle distance runners. *European Journal of Applied Physiology* 69, 140-146

Cita Original

Daniel G. Carey and Mark T. Richardson ¿Pueden la Potencia Aeróbica y Anaeróbica ser Medidas con un Test Máximo de 60 Segundos? *Journal of Sports Science and Medicine* (2003) 2, 151-157.