

Monograph

¿Es Posible Determinar la Potencia Aeróbica y Anaeróbica con un Test Máximo de 60 Segundos?

M. Richardson² y Daniel G Carey¹

¹University of St. Thomas, St. Paul, Minnesota, Estados Unidos.

²University of Alabama, Tuscaloosa, AL, Estados Unidos.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue valorar la eficacia de medir tanto la potencia aeróbica como la potencia anaeróbica con un test de máximo esfuerzo de 60 segundos de duración. 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 Estados Unidos realizaron los siguientes tests: 1) un test de esfuerzo máximo de 60 segundos a modo de práctica; 2) un test estándar con cargas progresivas para la medición del VO_2 máx.; 3) un test de Wingate para la medición de la potencia anaeróbica (WAT); 4) medición del VO_2 durante el test de esfuerzo máximo de 60 segundos (60-SEG), y 5) medición del VO_2 durante un test de esfuerzo máximo de 75 segundos de duración (75-SEG). Todos los tests fueron llevados a cabo en cicloergómetro con cupla electrónica. Para determinar el porcentaje de grasa se utilizó la técnica de pesaje hidrostático. Los valores del consumo pico de oxígeno para los tests 60-SEG ($53.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 92% VO_2 máx.) y 75-SEG ($52.6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 91% VO_2 máx.) fueron significativamente menores que el VO_2 máx. ($58.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Durante el test 75-SEG, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de VO_2 máx. entre los 30 y los 75 segundos, demostrando un efecto de estabilización. No se observaron diferencias significativas en el pico de potencia o en el pico de potencia relativa entre los tests de Wingate, 60-SEG y 75-SEG, mientras que, como se esperaba, la potencia media, la potencia media relativa, y el índice de fatiga, fueron significativamente diferentes entre estas pruebas. Las mediciones de la potencia entre los tres tests estuvieron altamente correlacionadas. Se concluyó que el VO_2 máx. no se alcanzó ni durante el test 60-SEG ni durante el test 75-SEG. Asimismo, las altas correlaciones en la producción de potencia entre los tests WAT, 60-SEG y 75-SEG muestran que no se requieren test para la medición de la potencia anaeróbica de mayor duración que el WAT de 30 segundos.

Palabras Clave: consumo máximo de oxígeno, wingate

INTRODUCCION

La medición del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) ha sido aceptada durante mucho tiempo como el “gold estándar” en la valoración de la aptitud cardiorrespiratoria. Se ha demostrado que esta medición está inversamente relacionada (especialmente en competidores heterogéneos) con el rendimiento en eventos de ciclismo de resistencia (Craig et al., 1993; Hopkins y McKenzie, 1994). También se ha demostrado que esta medición está asociada con el tiempo de recuperación en eventos del tipo intermitente de alta intensidad, atenuando la declinación en el rendimiento debido a la fatiga (DePampero

y Margaria, 1968). El consumo máximo de oxígeno ha sido tradicionalmente medido utilizando un protocolo progresivo, continuo o discontinuo, realizado hasta el agotamiento volitivo. En general se acepta que una estabilización en el consumo de oxígeno con el incremento de la intensidad de ejercicio indica que el sujeto ha alcanzado el VO_2 máx., aunque esta estabilización no siempre es observada.

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

Se han utilizado diferentes tests para medir la capacidad anaeróbica, entre los cuales se incluyen pruebas de carrera (Medbo y Sejerstad, 1985; Scott et al., 1991; Olesen et al., 1994), subidas a escaleras, y ciclismo (Serresse et al., 1988; Withers et al., 1993; Gastin y Lawson, 1994a; 1994b; Craig et al., 1995). Sin embargo el test más frecuentemente citado como el estándar en la valoración de la capacidad anaeróbica es el Test de Wingate de 30 segundos de Potencia Anaeróbica (WAT) (Vandewalle et al., 1985; Patton y 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 carrera para la medición de la potencia anaeróbica (Patton et al., 1985; Bar-Or et al., 1988; Scott et al., 1991). La evaluación de la potencia anaeróbica utilizando la cicloergometría tiene la ventaja de (1) realizar valoraciones continuas de la potencia a lo largo del test; (2) permite realizar ajustes en la potencia en base a la fatiga a medida que el test progresa (la producción de potencia se reduce a medida que la cadencia se reduce a un torque fijo) y (3) permite realizar mediciones del intercambio de gases en un sujeto que se ejercita en el ergómetro estático.

Recientemente, varios investigadores han propuesto que la duración de los tests para la medición de la capacidad anaeróbica debería ser mayor a los 30 segundos, debido a que la deuda de oxígeno acumulada máxima continua incrementándose luego de los 30 segundos (Hill y Scarborough, 1986; Medbo y Tabata, 1989; Withers et al., 1991; Gastin et al., 1994a; b; Weber and Schneider, 2001). Esta deuda es definida como la diferencia entre el consumo de oxígeno estimado a partir de la extrapolación lineal realizada a partir de cargas submáximas y supramáximas y el consumo de oxígeno real medido (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 y Tabata, 1993; Gastin y Lawson, 1994a; 1994b), otros la han refutado (Withers et al., 1993; Green et al., 1996; Bangsbo, 1998). Esto se debe o al incremento no lineal en el consumo de O_2 por encima del umbral anaeróbico (Bangsbo, 1998) o a que esta técnica falla en distinguir entre atletas entrenados en resistencia y atletas entrenados en la fuerza (Withers et al., 1993). Este último punto ha sido refutado por Scott et al. (1991), quienes hallaron diferencias significativas en la deuda de oxígeno acumulada máxima entre corredores de fondo y de medio fondo. La duración ideal de un esfuerzo máximo para evaluar la capacidad anaeróbica por medio de la deuda de oxígeno acumulada máxima (MAOD) puede estar en el rango de los 1 a 2 minutos, aunque el 80% de la misma puede alcanzarse en los primeros 30 segundos de un test de esfuerzo máximo (Gastin y Lawson, 1994b).

El principal objetivo de este estudio fue valorar la eficacia de un test de esfuerzo máximo de un minuto de duración (60-SEG) para valorar tanto la potencia aeróbica como la anaeróbica. También se incluyó en el protocolo de investigación, un test de esfuerzo máximo de 75 segundos (75-SEG) por si el test de 60-SEG tenía una duración insuficiente como para alcanzar el VO_2 máx. Si bien la valoración de la deuda de oxígeno acumulada máxima y la determinación de la duración óptima de un test para la medición de la capacidad anaeróbica estaban 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; b; Weber and Schneider, 2001).

Dado que investigaciones previas han respaldado la idea de un muy rápido incremento en el consumo de oxígeno, alcanzando quizás el VO_2 máx. (Serresse et al., 1988; Gastin and Lawson, 1994a), y que la capacidad anaeróbica podría ser medida de mejor manera con un test de esfuerzo máximo de 60 segundos que con un test de 30 segundos (Hill et al., 1986; Medbo y Tabata, 1989; Withers et al., 1991; Gastin y Lawson, 1994b; Weber y Schneider, 2001), este estudio fue diseñado para determinar si tanto la capacidad aeróbica como la anaeróbica podían ser medidas con un solo test de esfuerzo máximo de 60 segundos. Los resultados de este estudio podrían, en efecto, eliminar la necesidad de que los sujetos realicen 2 tests independientes de esfuerzo máximo, reduciendo de esta manera 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; $\text{media} \pm \text{DE}$ para la edad = 33.2 ± 8.6 años) eran ciclistas pertenecientes a la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos (USCF) quienes estaban en la mitad de su temporada competitiva en el momento de la recolección de los datos. Todos los ciclistas competían en eventos de resistencia que estaban en el rango de los 16 minutos a eventos de ultra resistencia. De los 15 ciclistas, dos eran de categoría V, siete eran de categoría IV, cuatro de categoría III, y dos 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 hacia las categorías IV y III en base a los resultados de las carreras, número de carreras en las que participan o una combinación de ambos. Los ciclistas progresan de la categoría III a las categorías II y I solo en base a los resultados de las carreras en las que participan. Todos los ciclistas estaban corriendo competitivamente en el momento del estudio, participando en dos a doce carreras por mes entre las cuales se incluían pruebas contrarreloj, criteriums y en carreras de ruta. Debido al pequeño número de participantes mujeres, los datos fueron analizados para el total de sujetos solamente. La aprobación para llevar a cabo esta investigación fue obtenida del Comité de Revisión Institucional (IRB) de la Universidad de St. Thomas, antes de la recolección de los datos.

	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 (0.08)	1.65 (0.08)	1.77 (0.09)
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 de los participantes del estudio. Los datos son presentados como valores medios \pm DE. Abreviaturas: FM=Masa grasa, LBM=masa magra corporal. § determinado por medio del pesaje hidrostático.

Protocolo del Estudio

Cada participante realizó tres visitas al Laboratorio de Rendimiento Humano de la Universidad de St. Thomas. Durante la primera visita, los sujetos completaron un breve formulario acerca de su historia de entrenamiento y de competiciones, leyeron y firmaron una forma de consentimiento, y realizaron el test de esfuerzo máximo de 60 segundos para familiarizarse con la evaluación (FAM). El propósito de la FAM fue evitar cualquier posible efecto de aprendizaje asociado con los test de esfuerzo máximo (Martin et al., 2000). Los procedimientos para la realización de esta prueba fueron idénticos a los utilizados para la realización del test 60-SEG descrito más abajo. La segunda visita incluyó la realización de un test máximo de ejercicio para la medición del VO_2 máx, el test de Wingate para valorar la capacidad anaeróbica, y el pesaje subacuático para la determinación de la masa grasa, la masa magra corporal y el porcentaje de grasa corporal. El protocolo utilizado para valorar el VO_2 máx. consistió de etapas de un minuto, comenzando con una potencia de 25 Watts, e incrementando la potencia en 25 Watts hasta el agotamiento. Durante la tercera visita, los participantes completaron tanto el test 60-SEG como el test 75-SEG, los cuales se llevaron a cabo en orden aleatorio. Todas las pruebas de esfuerzo máximo estuvieron separadas por un periodo de recuperación de una hora. Para cada participante, las pruebas fueron completadas a la misma hora del día y dentro de un período de una semana.

Tests de Esfuerzo Máximo

Los tests fueron llevados a cabo en un cicloergómetro con cupla electrónica (Lode BV, Groninger, The Netherlands). Los sujetos llevaron sus propios pedales y zapatos, y tanto el asiento como el manubrio fueron ajustados según sus especificaciones. El análisis de los gases fue llevado a cabo utilizando el Sistema de Medición del Metabolismo Medical Graphics CPX-D (Medical Graphic Corp., St. Paul, Minnesota), el cual fue calibrado para el volumen, temperatura ambiente y presión, y para la concentración de gases ($12\% \text{O}_2$, $5\% \text{CO}_2$) antes de cada prueba. Para el test de VO_2 máx. se realizaron análisis respiración por respiración promediando los datos cada 30 segundos. Para los tests 60-SEG y 75-SEG también se realizaron análisis de los gases respiración por respiración, pero promediando los datos cada 3 segundos. El test

progresivo para la medición del VO_2 máx. comenzó con una carga de 25 watts la cual se incremento en 25 watts por minuto hasta el agotamiento. Todos los sujetos debían cumplir con al menos dos de los siguientes criterios para determinar que habían alcanzado el VO_2 máx.: (1) alcanzar el 90% de la frecuencia cardiaca máxima estimada a partir de la edad; (2) una estabilización en el consumo de oxígeno (diferencia entre el consumo de oxígeno en las dos etapas finales <150 ml/min); y (3) un cociente respiratorio (RQ) mayor a 1.1. Se determinó que el consumo máximo de oxígeno era el mayor valor de VO_2 alcanzado en un intervalo de 30 segundos. La determinación de la carga óptima para la valoración tanto del pico de potencia como de la potencia media en los tests 60-SEG y 75-SEG se basó en investigaciones previas (Gastin et al., 1991), y se estableció que eran de 0.075 g/kg para los hombres y de 0.065 g/kg para las mujeres. Los valores medios para las cargas en los tests 60-SEG y 75-SEG fueron de 58.5 y 57.8 Newtons•metros (N•m), respectivamente (n=15). La carga para el test de Wingate fue estandarizada de acuerdo con las recomendaciones del programa de los fabricantes (factor de torque para los hombres=0.8, factor de torque para las mujeres=0.77) y resultaron 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 cardiaca (Polar Electro, Woodbury, New York) se midió al menos durante 5 segundos en cada etapa y al llegar al agotamiento en el test progresivo de ejercicio y al final de los tests 60-SEG y 75-SEG.

Composición Corporal

La composición corporal se determinó por medio del pesaje hidrostático. El método para el pesaje hidrostático fue descrito previamente (Foss et al., 1998). Los volúmenes residuales tanto para los hombres como para las mujeres fueron estimados a partir de formulas específicas del sexo, de acuerdo 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 por el peso corporal. La masa magra fue determinada sustrayendo la FM del peso corporal.

Análisis Estadísticos

Las características físicas de los sujetos y sus rendimientos están expresados como valores medios (DE). Las diferencias en los valores del consumo de oxígeno entre el test progresivo para la medición del VO_2 máx., el test 60-SEG y el test 75-SEG fueron evaluadas utilizando el Análisis de Varianza para mediciones repetidas (Statistix Analytical Software, Tallahassee, Florida). Las diferencias entre el test de Wingate, el test 60-SEG y el test 75-SEG, para la diferentes mediciones de producción de potencia valoradas fueron evaluadas utilizando el mismo programa, *Statistix Analytical Software*. Cuando se hallaban diferencias significativas con el Análisis de Varianza, se llevaban a cabo test post hoc utilizando el factor de corrección de Bonferroni. Las relaciones entre los valores de potencia obtenidos durante los tests de VO_2 máx., de Wingate de 30 segundos, y durante los tests de 60 y 75 segundos fueron evaluados utilizando el coeficiente de correlación Momento Producto de Pearson. La significancia estadística fue aceptada al nivel $p < 0.0$.

	Test de VO_2 máx	Test 60-SEG	Test 75-SEG
Frecuencia Cardiaca Máxima (latidos/min)	190 (10)	181 (11)*	178 (12)*
Frecuencia Cardiaca Máxima Estimada (%)	101.6 (4.7)	95.3 (5.8)	93.7 (6.3)
VO_2 máx. ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	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 CO_2 (ml/min)	5286 (656)	5840 (833)*	5549 (793)*
Cociente Respiratorio Máximo	1.24 (0.06)	1.47 (0.09)*	1.45 (0.07)*
Potencia Máxima (W)	388 (42)	1107 (212)*	1100 (198)*

Tabla 2. Mediciones del esfuerzo (Media±DE) para el test progresivo para la medición del VO_2 máx., y para los tests 60-SEG y 75-SEG. Los datos son presentados como valores medios (DE). * Denota diferencia significativa a un nivel de significancia $p < 0.05$ en comparación con el test de VO_2 máx.

RESULTADOS

Potencia Aeróbica

Las mediciones de esfuerzo para el test progresivo para la medición del VO₂ máx., y para los test 60-SEG y 75-SEG se muestran en la Tabla 2. El VO₂ máx. medio obtenido con el test progresivo de ejercicio (58.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹) fue significativamente mayor que los valores medios de VO₂ máx. obtenidos durante el test 60-SEG (53.4 ml.kg⁻¹.min⁻¹, p<0.0001, t=6.44) y durante el test 75-SEG (52.6 ml.kg⁻¹.min⁻¹, p < 0.0001, t=5.53). No se observaron diferencias significativas entre el consumo de oxígeno medio obtenido durante los tests 60-SEG y 75-SEG (p=0.407, t=0.85). Si bien no se hallaron diferencias significativas en los valores del consumo de oxígeno entre los 30 segundos (87.0%) y los 75 segundos (91.0%) en el test 75-SEG, los datos indican un ligero incremento en los valores del consumo de oxígeno durante este período (Tabla 3).

Potencia Anaeróbica

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

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

Tabla 3. Cinética del oxígeno expresada en porcentaje del VO₂ máx. para el test de 75-SEG mostrando el consumo de O₂ a intervalos de 15 segundos. Los datos son presentados como valores medios (DE). §Determinado durante el test progresivo para el VO₂ máx. No hay diferencias significativas entre los 30 segundos y los 75 segundos.

Las correlaciones entre la potencia aeróbica (VO₂ máx.) y los diferentes índices de producción de potencia valorados con los tests de Wingate, 60-SEG y 75-SEG fueron pequeñas y no fueron estadísticamente significativas, con la excepción de la potencia media relativa para los tests 60-SEG (r=0.52) y 75-SEG (r=0.53). Si bien estos coeficientes de correlación fueron significativos, son relativamente bajos, y probablemente tienen poco valor práctico.

	Wingate	Test 60-SEG	Test 75-SEG
Potencia Pico (Watts)	1118 (201)	1107 (212)	1100 (198)
Potencia Pico 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 (0.7)
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 durante los tests de Wingate, 60-SEG y 75-SEG. Los datos son presentados como valores medios (DE). * Test de Wingate significativamente diferente (p<0.05) de los tests 60-SEG y 75-SEG.

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

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre los tests de Wingate, 60-SEG y 75-SEG. Abreviaturas: PP=Potencia Pico, MP=Potencia Media. *, ** y *** denotan $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 , respectivamente.

DISCUSION

El mayor hallazgo de este estudio fue que con 60 y 75 segundos de ciclismo de máxima intensidad se alcanzó solo el 92% y el 91%, respectivamente, del VO_2 máx. alcanzado durante un test progresivo tradicional para la medición del VO_2 máx. Se debe señalar que si bien el 91.0% del VO_2 máx. fue alcanzado en 75 segundos, el 87% del VO_2 máx. fue alcanzado solo en 30 segundos. Esto demuestra que hay un rápido incremento inicial en el VO_2 , el cual se estabiliza rápidamente con el incremento de la duración de la prueba. Estos resultados son: (1) casi idénticos a los obtenidos por algunos investigadores (Gastin et al., 1991, Withers et al., 1991), (2) algo mayores que los obtenidos por Withers et al. (1993) y (3) algo menores que los obtenidos por Serresse et al. (1988), quienes reportaron que esquiadores de cross country, biatletas, y patinadores de velocidad entrenados alcanzaban el VO_2 máx. en 60 segundos durante una cicloergometría. Otros investigadores han afirmado que se requieren de al menos 2 minutos de ejercicio supramáximo para alcanzar el VO_2 máx. (Astrand y Saltin, 1961).

Existen varias razones potenciales que pueden explicar porque en el presente estudio no se alcanzó el VO_2 máx. en 60 o en 75 segundos. La siguiente discusión es especulativa por naturaleza y ofrece varias explicaciones posibles a estos hallazgos. La rápida acumulación de iones hidrógeno en el músculo, lo cual resulta en el incremento de la acidosis, puede evitar que se alcance el VO_2 máx. (Hermanson, 1969). Los niveles más altos de lactato registrados (32 mmol/L) han sido hallados en atletas bien entrenados durante la recuperación de eventos competitivos de aproximadamente un minuto de duración (Osnes y Hermansen, 1972), la cual es comparable a los 60 y 75 segundos utilizados en el presente estudio.

Durante los tests 60-SEG y 75-SEG se pudieron haber alcanzado menores gastos cardíacos, lo cual pudo haber contribuido a que no se alcance el VO_2 máx. Si bien el gasto cardíaco no fue valorado en el presente estudio, se podría estimar que este fue menor debido a las menores frecuencias cardíacas máximas alcanzadas durante los tests 60-SEG y 75-SEG en comparación con el test de VO_2 máx. (Tabla 2). Se debe señalar que los porcentajes de VO_2 máx. alcanzados durante los tests 60-SEG (92%) y 75-SEG (91%) fueron similares a los porcentajes de la frecuencia cardíaca máxima alcanzada durante estos tests (96% y 94%, respectivamente, Tabla 2).

Pudo haberse producido una desaturación arterial de oxígeno debido a la fatiga respiratoria que produce la hiperventilación prolongada, lo cual a la vez pudo haber evitado que se alcanzara el VO_2 máx. Se ha demostrado que la hiperventilación incrementa el cociente espacio muerto/volumen corriente (Wasserman et al., 1986). Durante el test 75-SEG, con excepción de una significativa reducción de la ventilación entre los 60 y los 75 segundos (164.5 vs. 159.5 litros por minuto), no se observaron diferencias significativas en el volumen corriente, en la frecuencia respiratoria o en la ventilación entre los 45 y los 75 segundos, lo cual puede indicar una estabilización de estas variables en los últimos 30 segundos del test. Una caída significativa en la ventilación entre los 60 y los 75 segundos puede indicar que se produjo fatiga ventilatoria. Si bien el tema de la fatiga de los músculos respiratorios ha sido un punto controversial, los estudios que han examinado la fatiga respiratoria durante ejercicios progresivos han concluido que "los altos niveles de ventilación observados durante ejercicios máximos no son mantenidos el tiempo suficiente como para resultar en el fallo mecánico" (Younes y Kivinen, 1984). La ventilación máxima fue mantenida considerablemente más tiempo en este estudio, lo cual fue determinado por el alcance de la ventilación máxima a los 30 segundos del test de 75 segundos. Las ventilaciones a los 30, 45, 60 y 75 segundos del test 75-SEG no fueron significativamente diferentes de la máxima ventilación 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 de tiempo durante el test 75-SEG en comparación con los valores máximos alcanzados durante el test de VO_2 máx. Esta hiperventilación durante el test 75-SEG podría explicar el rápido y significativo ($p < 0.05$) incremento observado en la fracción de oxígeno del volumen corriente final (15.5%, 17.1%, 16.7%, y 16.5% a los 0, 30, 60, y 75 segundos, respectivamente). Estas respuestas pueden reflejar las condiciones del intercambio de gases que posiblemente resultaron en un grado de desaturación de la oxihemoglobina y por lo tanto produjeron una reducción en el transporte de oxígeno hacia los músculos activos. Si bien se ha 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 estado estable a una intensidad submáxima o ejercicios progresivos hasta el agotamiento, en contraste con la intensidad supramáxima utilizada en el presente estudio.

Las razones de las discrepancias entre los resultados del presente estudio y el de Sorresse et al. (1988), quienes reportaron el alcance del VO_2 máx. en 60 segundos, continúan siendo inciertas. Las diferencias en los resultados pueden deberse a diferencias en los protocolos de evaluación. Por ejemplo, Serresse afirma que "las diferencias pueden ser explicadas... por el ritmo utilizado durante los primeros 20-30 segundos de un test de 90 segundos". Esto no coincide con el presente estudio, en el cual el esfuerzo máximo se aplicó inmediatamente después de comenzados los tests de 60-SEG y 75-SEG. La utilización de un ritmo menor en los primeros instantes de la prueba pudo haber permitido un incremento gradual en el VO_2 lo cual podría simular un protocolo progresivo.

Las correlaciones negativas obtenidas para el pico de potencia absoluto y para la potencia media absoluta, cuando fueron comparados con el VO_2 máx., no son sorprendentes, dado que los sujetos de este estudio eran ciclistas entrenados en resistencia. Sin embargo, estas correlaciones negativas se vuelven ligeramente positivas cuando la potencia pico y la potencia media se expresan en términos relativos. Esto puede ser explicado de mejor manera por el hecho de que el peso corporal es incluido en ambas variables (VO_2 máx. expresado en $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ y la potencia expresada en watts/kg). En este grupo de sujetos se obtuvieron coeficientes de correlación de 0.629 y 0.764 para las comparaciones del peso corporal con la potencia pico y del peso corporal con la potencia media, respectivamente.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este estudio, se concluye que la potencia aeróbica y la potencia anaeróbica no pueden ser medidas con un solo test de esfuerzo máximo de 60 segundos de duración. Si bien se puede especular que 60 segundos es una duración tal que no permite ir desde un nivel bajo y submáximo de consumo de oxígeno a los altos valores alcanzados por atletas de resistencia bien entrenados en este período de tiempo, el hecho de que se pueda alcanzar el 87% del VO_2 máx. en 30 segundos indicaría que existen otros factores operativos además del tiempo y que explican el fallo en alcanzar el VO_2 máx. Los estudios futuros deberían estar dirigidos a investigar cuales son los mecanismos operativos que evitan que se alcance el verdadero VO_2 máx. en este período de tiempo.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Daniel G. Carey, PhD correo electrónico #5003, 2115 Summit Avenue, University of St. Thomas, St. Paul, Minnesota, 55105, Estados Unidos.

REFERENCIAS

1. Astrand, P. O. and Saltin, B (1961). Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *Journal of Applied Physiology* 16, 971- 976
2. Bangsbo, J (1988). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 47-52
3. Bar-Or, O., Dotan, R. and Inbar, O (1988). A 30-sec allout ergometric test: Its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal of Medicine and Science* 13, 326-327
4. 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
5. 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
6. 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, 534-540
7. 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
8. DePampero, P. and Margaria, R (1968). Relationship between O_2 consumption, high energy phosphates, and the kinetics of the O_2 debt in exercise. *Pflugers Archiv* 304, 11-19

9. 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
10. 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
11. Gastin, P. and Lawson, D (1994). Variable resistance allout test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology* 69, 331-336
12. 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
13. 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
14. Hermanson, L (1969). Anaerobic energy release. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1, 32-38
15. 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
16. Hopkins, S. and McKenzie, D (1994). The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Canadian Journal of Applied Physiology* 19, 266-274
17. 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
18. 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
19. 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
20. Medbo, J. and Tabata, I (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during shortlasting exhausting bicycle exercise. *Journal of Applied Physiology* 67, 1881-1886
21. Medbo, J. and Tabata, I (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 to 3 minute of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology* 75, 1654-1660
22. 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
23. Osnes, J. and Hermansen, L (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology* 32, 59-63
24. Patton, J., Murphy, M. and Frederick, F (1985). Maximal power outputs during the Wingate Anaerobic test. *International Journal of Sports Medicine* 6, 82-85
25. Patton, J. and Duggan, A (1987). An evaluation of tests of anaerobic power. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 58, 237-242
26. 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
27. 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
28. 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
29. 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
30. 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
31. Wasserman, K., Hansen, J., Sue, D. and Whipp, B (1986). Principles of exercise testing and interpretation. Philadelphia, Pa., Lea and Febiger. 34-35
32. 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
33. 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)
34. 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
35. 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
36. 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
37. 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

Cita Original

D. G. Carey and M.T. Richardson. Can Aerobic and Anaerobic Power be Measured in a 60-Second Maximal Test?. *Journal of Sports Science and Medicine*; 2, 151-157, 2003.