

Monograph

Contribuciones Aeróbicas y Anaeróbicas al Gasto Energético en Estado No Estable Durante la Producción de Potencia en Estado Estable

Dr. Christopher B. Scott, Brittany Shaw y Chris Leonard

University of Southern Maine/ Gorham, ME, Estados Unidos.

RESUMEN

En este trabajo realizamos una estimación del gasto energético aeróbico y anaeróbico durante y después de realizar un ejercicio con carga de trabajo en estado estable de alta intensidad de 6 min, el cual es generalmente modelado utilizando solamente mediciones de consumo de oxígeno y también se realizaron comparaciones entre los sexos. El test máximo reveló que no había diferencias entre el consumo de oxígeno pico entre hombres ($n=8$) ($46,5\pm 8,0$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) y mujeres ($n=8$) ($42,6\pm 7,5$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) ($p=0,34$). Luego, los sujetos pedalearon durante 6 min a una intensidad fisiológica similar, establecida sobre la base de los resultados obtenidos en la prueba máxima. El esfuerzo percibido determinado en el ejercicio de ciclismo de 6 min fue similar entre varones, $18,1\pm 1,7$ y mujeres, $18,1\pm 2,4$ ($p=0,80$). Sin embargo, la producción de potencia durante este ejercicio fue mayor en los varones (203 ± 23 W) que en las mujeres (145 ± 34 W) ($p=0,001$). El análisis de los datos agrupados (hombres y mujeres juntos) reveló que el gasto energético durante el ejercicio fue significativamente mayor cuando contenía un componente anaeróbico ($271,2\pm 66,1$ kJ respecto a $328,0\pm 74,5$ kJ; $p<0,03$); esto también se observó en los datos de los varones por separado, pero no en los de las mujeres. Las contribuciones relativas del gasto energético para el ejercicio y la recuperación fueron similares en los varones y mujeres: ejercicio anaeróbico, 13-14%; ejercicio aeróbico, 65%; recuperación aeróbica, 21-22%. Nosotros concluimos que las comparaciones entre los sexos, con respecto a la magnitud de las contribuciones aeróbicas y anaeróbicas al gasto energético pueden ser confundidas por el método de interpretación (análisis de los datos absolutos y relativos). Las estimaciones del gasto energético anaeróbico a lo largo del ejercicio de alta intensidad de 6 min exceden las del componente lento del consumo de O₂ que ocurre durante los últimos 3 min de ejercicio.

Palabras Clave: déficit de oxígeno, lactato sanguíneo, componente lento del consumo de oxígeno, comparaciones entre sexos

INTRODUCCION

Durante la producción de potencia en estado estable de baja a moderada intensidad, los valores de consumo de oxígeno

alcanzan una meseta o *plateau* y se alcanza el estado estable, proporcionando una estimación válida del gasto de energía (1). Sin embargo, a mayores intensidades de ejercicio, el consumo de oxígeno alcanza momentáneamente un *plateau* pero luego comienza a incrementarse gradualmente, alejándose del estado estable. Se ha postulado que este fenómeno llamado, componente lento del consumo de O_2 , representa un gasto energético "extra" durante el ejercicio porque a medida que aumenta el consumo de oxígeno la producción de potencia no varía (1). Por otra parte, a intensidades de ejercicio más altas, el músculo esquelético que está realizando trabajo depende cada vez más de una rápida degradación de los carbohidratos como fuente de combustible (2) y la producción de lactato puede exceder la degradación del mismo. Así, durante la realización de ejercicios fuertes o intensos está claro que hay un componente anaeróbico de energía para el también llamado gasto energético "extra" (3, 4). Desgraciadamente el potencial anaeróbico del gasto energético "extra" generalmente no es reconocido, porque el exceso de gasto de energía generalmente es modelado solo a través de la medición del consumo de oxígeno.

En esta investigación descriptiva, nuestro objetivo fue estimar el gasto energético aeróbico y anaeróbico durante y después de un ejercicio de ciclismo de alta intensidad en estado estable de 6 minutos, diseñado para favorecer la aparición del componente lento del VO_2 . Nos planteamos el siguiente interrogante: ¿El gasto de energía anaeróbico realiza una contribución significativa al ejercicio durante una prueba de ejercicio, conocida principalmente por su capacidad para aumentar el consumo de oxígeno?. También realizamos una comparación entre las contribuciones del gasto energético aeróbico y anaeróbico entre varones y mujeres.

MÉTODOS

Sujetos

Este estudio fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad del Sur Maine.

Dieciséis participantes físicamente activos; 8 hombres ($24,1 \pm 2,4$ años) y 8 mujeres ($24,3 \pm 4,5$ años) (n total=16; Tabla 1) dieron su consentimiento informado.

Procedimientos

Los sujetos no ingirieron alimentos ni bebidas por lo menos 3 horas antes de la evaluación. Los sujetos realizaron dos pruebas de ejercicio en dos días diferentes (con 1 semana de separación entre ellas como mínimo); un test de ejercicio máximo hasta el agotamiento y un test de ejercicio submáximo de 6 min. Durante los dos tests, se recolectaron los gases espirados en períodos de muestreo de 15 segundos.

Para la medición de los gases espirados se utilizó un dispositivo de medición de metabolismo (*metabolic cart*) (*Parvomedics metabolic cart*, Sandy, UT) que fue calibrado por lo menos dos veces antes de realizar los tests. Los tests fueron realizados usando una bicicleta de ruta *Diamondback* montada en una bicicleta ergométrica *Velodyne* (*Velodyne Sports*, Laguna Hills, CA). Para el test máximo, los sujetos comenzaron con una carga de trabajo de 30 Watts que se incrementaba en 10 Watts cada 30 segundos hasta el agotamiento voluntario. El VO_{2pico} se tomó como el mayor consumo de oxígeno registrado durante el test máximo.

Los resultados obtenidos a partir del test máximo fueron utilizados para calcular la carga de trabajo que se emplearía en el test submáximo. La carga de trabajo para el test submáximo fue establecida como la tasa de trabajo (W) localizada en el punto medio entre el umbral anaeróbico y el VO_2 máx. El umbral anaeróbico se calculó como el umbral ventilatorio donde se producía un aumento abrupto y constante en el índice V_E/VO_2 luego del *plateau* inicial (5).

En el test de ejercicio submáximo fue registrado el intercambio de gases en reposo, durante el ejercicio y en el período de recuperación. El consumo de oxígeno en reposo fue registrado durante los 5 minutos previos al test de 6 minutos, lapso durante el cual los sujetos permanecieron sentados y callados en la bicicleta. Luego del test de ejercicio de ciclismo en estado estable de alta intensidad de 6 minutos, los sujetos descendieron inmediatamente de la bicicleta y permanecieron sentados y callados hasta que el consumo de oxígeno fuera inferior al valor obtenido previamente durante la medición de reposo de 5 minutos. Durante el ejercicio, el gasto de energía aeróbico fue calculado teniendo en cuenta que 1 litro $O_2=21,1$ kJ. Durante la recuperación, el gasto de energía fue calculado según la equivalencia 1 litro $O_2=19,6$ kJ (6). El consumo de oxígeno obtenido durante el reposo fue sustraído a todos los valores obtenidos durante el ejercicio y la recuperación.

El componente lento del VO_2 y los déficits de O_2 fueron medidos utilizando el manifiesto *plateau* que se produce en el

consumo de oxígeno a los 3 minutos en el ciclismo de alta intensidad en estado estable (4). El componente lento del VO_2 fue definido como el consumo de oxígeno por encima del nivel en donde el mismo se hace constante (*plateau*) registrado a partir de los 3-minutos hasta el final del ejercicio a los 6 minutos. Se calcularon dos déficits de O_2 . El primer déficit de O_2 fue establecido como la diferencia entre el valor donde el consumo de oxígeno alcanza un *plateau* a los 3-minutos y el consumo de oxígeno real medido desde el comienzo del ejercicio (área negra, Figura 1). El segundo déficit de O_2 fue registrado como la diferencia entre el primer déficit de O_2 y el pico del componente lento del VO_2 (4). El gasto de energía anaeróbico fue registrado como el déficit total de O_2 (déficit $t\text{O}_2$): suma del déficit 1 y el déficit 2 de O_2 . Los déficits de O_2 fueron convertidos a kJ según la equivalencia; 1 litro $\text{O}_2=21,1$ kJ.

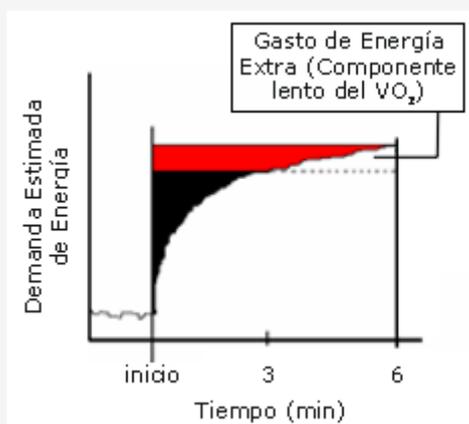


Figura 1. Valores del consumo de oxígeno a lo largo del ejercicio.

Los niveles de lactato sanguíneo en reposo fueron determinados por duplicado antes de realizar el test submáximo (*Lactate Pro*, Arkay Inc., Kyoto, Japón).

En el período de recuperación donde los sujetos permanecieron sentados los niveles de lactato sanguíneo también fueron registrados por duplicado y se obtuvo el promedio de los datos obtenidos a los 4, 6 y 8 minutos. El nivel máximo de lactato en sangre fue tomado como el valor máximo de lactato promedio observado durante la recuperación. El gasto energético anaeróbico fue estimado como la diferencia entre la concentración de lactato sanguíneo en reposo y la concentración máxima, expresado como Δ lactato sanguíneo, y convertido a equivalentes de consumo de oxígeno como $3 \text{ mL O}_2 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{mM}^{-1}$ (teniendo en cuenta la equivalencia 1 litro $\text{O}_2=21,1$ kJ) (7).

Análisis Estadísticos

Los datos descriptivos se presentan como media \pm desviación estándar (DS). Para realizar las comparaciones entre los datos y establecer diferencias se utilizó un test-t estándar para muestras independientes. Las relaciones fueron evaluadas mediante la correlación de Pearson. El nivel de alfa fue fijado en 0,05.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los datos obtenidos en el test de ciclismo máximo en el cual varones y mujeres presentaron valores similares de VO_2 pico (varones, $46,5 \pm 8,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; mujeres, $42,6 \pm 7,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; $p=0,34$) y de umbral ventilatorio (varones, $34,3 \pm 6,7 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; mujeres, $32,8 \pm 6,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; $p=0,67$) lo que indicaría que ambos grupos poseían un nivel de aptitud física similar. Sin embargo los varones, presentaron una producción de potencia máxima mayor que las mujeres en el momento de alcanzar el agotamiento ($238,8 \pm 27,5$ vs. $166,6 \pm 37 \text{ W}$, respectivamente; $p=0,001$).

	Varones (n=8)	Mujeres (n=8)	p
Edad (años)	24,1 ± 2,4	24,3 ± 4,5	0,89
Talla (cm)	182,0 ± 5,5	163,3 ± 6,7	0,001
Peso (kg)	80,6 ± 8,7	61,0 ± 5,9	0,001
VO ₂ pico (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	46,5 ± 8,0	42,6 ± 7,5	0,34
Vatios Pico (W)	238,8 ± 27,5	166,6 ± 37	0,001
VT (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	34,3 ± 6,7	32,8 ± 6,5	0,67
VT % del VO ₂ pico	72,0 ± 8,1	70,3 ± 13,2	0,80

Tabla 1. Características de los sujetos y parámetros de aptitud física determinados durante el ejercicio de ciclismo máximo. Los datos se presentan como Media±DS. VO₂ pico=consumo máximo de oxígeno alcanzado durante el test realizado hasta el agotamiento; VT=umbral ventilatorio.

La carga de trabajo de alta intensidad utilizada en la prueba en estado estable de 6 min se fijó sobre la base de los datos provenientes del test de ciclismo máximo hasta el agotamiento, con el objetivo de estandarizar la intensidad del ejercicio en ambos sexos. Esta carga de trabajo se ubicó en el punto medio, entre el umbral ventilatorio y el VO₂ pico.

Durante el test de ciclismo de alta intensidad de 6 min, la tasa de trabajo observada en los varones (203,1±23 W) fue superior a la de las mujeres (145,0±33,6 W) (p=0,001). En consecuencia, tanto el gasto energético aeróbico como el anaeróbico fueron más altos en los varones que en las mujeres (Tabla 2).

Con los datos de varones y mujeres juntos, el gasto energético en el test de ciclismo de 6 min fue mayor cuando el mismo contenía una estimación anaeróbica (lactato sanguíneo, 328±74,5 kJ; déficit de O₂, 328,3±77,8 kJ) que cuando solo contenía una estimación aeróbica (271,2±66,1 kJ) (p=0,03).

	Varones (n=8)	Mujeres (n=8)	p	Varones y Mujeres
Watts	203,1±23	145,0 ± 33,6	0,001	174,1 ± 40,9
Δ Lactato Sanguíneo (kJ)	66,4±13,4	47,2 ± 6,6	0,003	56,8 ± 14,2
Déficit O ₂ 1 (kJ)	42,2±5,0	32,3 ± 10,3	0,03	37,2 ± 9,3
Déficit O ₂ 2 (kJ)	27,4±10,4	12,3 ± 5,1	0,002	19,8 ± 11,1
Déficit tO ₂ (kJ)	69,5±7,7	44,6 ± 10,0	0,001	57,1 ± 15,5
VO ₂ Exer (kJ)	319,7±26,3	222,7 ± 57,2	0,001	271,2 ± 66,1
VO ₂ lento(kJ)	18,6±7,8	11,1 ± 5,3	0,04	14,8 ± 7,5
VO ₂ Rec (kJ)	107,6±20,6	72,8 ± 22,4	0,008	91,3 ± 27,3
VO ₂ Rec (s)	986±206	1108 ± 276	0,37	1047 ± 242
EEE (kJ) (lac + VO ₂ exer)	386,1±27,6	269,9 ± 58,4	0,001	328,0 ± 74,5
EEE (kJ) (déficit tO ₂ + VO ₂ exer)	389,3±22,2	267,2 ± 63	0,001	328,3 ± 77,8
TEE (kJ)(lac + VO ₂ exer + VO ₂ rec)	493,7±40,5	346,6 ± 82,8	0,001	425,0 ± 97,6

Tabla 2. Datos absolutos obtenidos en el test de ciclismo con carga de trabajo submáxima de 6 minutos. Los datos se presentan como Media±SD. Los datos correspondientes al gasto energético se expresan en kJ; déficit O₂ 1= primer déficit de oxígeno; déficit O₂ 2= segundo déficit de oxígeno; déficit tO₂ = déficit total de oxígeno (primer déficit de O₂ + segundo déficit de O₂; ver la Figura 1); VO₂ exer = Consumo de oxígeno durante el ejercicio; VO₂ lento = Componente lento del consumo de oxígeno; VO₂ rec = Consumo de oxígeno durante la recuperación; EEE = gasto energético durante el ejercicio; TEE = gasto energético total; lac = Δ lactato sanguíneo (kJ); p = nivel de alfa para el test-t estándar entre varones y mujeres.

Al establecer comparaciones entre los sexos, las estimaciones del gasto energético aeróbico absoluto de los varones (319,7±26,3 kJ) fueron significativamente menores, en comparación con el gasto energético del ejercicio que fue complementado con las estimaciones anaeróbicas, utilizando ya sea el lactato sanguíneo (386,1±27,6 kJ; p=0,001) como el déficit total de O₂ (389,3±22,2 kJ; p=0,001) (Tabla 2). Esta tendencia no se observó en las mujeres: gasto energético

aeróbico, $222,7 \pm 57,2$ kJ; aeróbico + lactato, $269,9 \pm 58,4$ kJ ($p=0,12$); aeróbico + déficit de O_2 , $267,2 \pm 63$ kJ ($p=0,16$) (Tabla 2).

Las comparaciones entre los datos relativos (Tabla 3) de ambos sexos revelaron que los varones ($85,2 \pm 4,1$) y mujeres ($87,0 \pm 5,2$) pedalearon a una intensidad similar (% de producción de potencia máxima) ($p=0,46$) durante el ejercicio de ciclismo de 6 min. El índice de esfuerzo percibido fue idéntico entre varones ($18,1 \pm 1,7$) y mujeres ($18,1 \pm 2,4$) ($p=0,80$).

Expresada en función de los valores de lactato sanguíneo o a través del déficit de O_2 , la contribución del gasto energético anaeróbico durante el ejercicio fue similar en varones y mujeres: lactato en varones, $17,2\% \pm 3,3$; lactato en mujeres, $17,5\% \pm 3,9$ ($p=0,89$); déficit de O_2 en varones, $18,0\% \pm 2,6$; déficit de O_2 en mujeres, $17,0\% \pm 2,9$ ($p=0,48$). Cuando se incluyó el gasto energético de la recuperación, las mediciones de lactato revelaron una contribución del gasto de energía anaeróbico del $13,5\%$ ($\pm 2,6$) para varones y $13,8\%$ ($\pm 3,1$) para mujeres; diferencia que no fue significativa ($p=0,82$).

	Varones (n=8)	Mujeres (n=8)	p	Varones y Mujeres
Watts (% max)	$85,2 \pm 4,1$	$87,0 \pm 5,2$	0,46	$86,1 \pm 4,6$
$W \cdot kg^{-1}$	$2,6 \pm 0,44$	$2,4 \pm 0,44$	0,42	$2,5 \pm 0,43$
RPE	$18,1 \pm 1,7$	$18,1 \pm 2,4$	0,80	$18,1 \pm 2,0$
Lactato (%EEE) (EEE = lac + VO_2 exer)	$17,2 \pm 3,3$	$17,5 \pm 3,9$	0,89	$17,3 \pm 3,4$
Déficit tO_2 (% EEE) (EEE = tO_2 déficit + VO_2 exer)	$18,0 \pm 2,6$	$17,0 \pm 2,9$	0,48	$17,5 \pm 2,7$
VO_2 Exer (%EEE) (EEE = lac + VO_2 exer)	$82,8 \pm 3,3$	$82,5 \pm 3,9$	0,89	$82,7 \pm 3,4$
VO_2 Exer (%EEE) (EEE = déficit tO_2 + VO_2 exer)	$82,0 \pm 2,6$	$83,0 \pm 2,9$	0,89	$82,5 \pm 2,7$
VO_2 lento (% de VO_2 Exer)	$5,9 \pm 2,7$	$5,3 \pm 2,6$	0,66	$5,6 \pm 2,6$
VO_2 lento (% de lac + VO_2 exer)	$4,3 \pm 1,7$	$4,3 \pm 2,0$	0,99	$4,3 \pm 1,8$
VO_2 lento (% de déficit tO_2 + VO_2 exer)	$4,8 \pm 2,1$	$4,3 \pm 2,0$	0,63	$4,6 \pm 2,0$
Δ Lactato (% de TEE) (TEE = lac + VO_2 exer + VO_2 rec)	$13,5 \pm 2,6$	$13,8 \pm 3,1$	0,82	$13,6 \pm 2,7$
VO_2 Exer (% de TEE) (TEE = lac + VO_2 exer + VO_2 rec)	$64,9 \pm 3,8$	$65,4 \pm 3,7$	0,80	$65,1 \pm 3,6$
VO_2 rec (% de TEE) (TEE = lac + VO_2 exer + VO_2 rec)	$21,7 \pm 3,2$	$20,8 \pm 2,6$	0,58	$21,3 \pm 2,8$

Tabla 3. Datos relativos (%) obtenidos en el test de ciclismo con carga de trabajo submáxima de 6 minutos. Los datos se presentan como (media \pm DS). RPE=índice de esfuerzo percibido; Δ Lactato y lac = Δ lactato sanguíneo; VO_2 lento = componente lento del VO_2 ; déficit tO_2 = déficit total de oxígeno (O_2 déficit 1 + O_2 déficit 2; ver Figura 1); VO_2 exer = consumo de oxígeno durante el ejercicio; VO_2 rec = consumo de oxígeno durante la recuperación; EEE = gasto energético del ejercicio; TEE = el gasto energético total; p = nivel de alfa para el test-t estándar entre varones y mujeres.

DISCUSION

Gasto Energético Anaeróbico

Los datos de gasto energético fueron analizados como una estimación de la capacidad (kJ) para el ejercicio y la recuperación en vez de una estimación en función de la tasa (por ejemplo, $kJ \cdot min^{-1}$). Las cargas de trabajo de elevada intensidad en estado estable pueden producir un aumento "extra" en estado no estable en el gasto energético que a menudo se explica solamente en el contexto del componente lento del VO_2 (es decir, como gasto de energía aeróbico). No obstante a tasas de trabajo que tienen lugar por encima del umbral ventilatorio - donde la producción de lactato excede la degradación del mismo - es evidente, que hay un componente de gasto energético anaeróbico que complementa el gasto

de energía aeróbica. Si se comparan con las estimaciones aeróbicas, los datos agrupados revelan un gasto energético durante el ejercicio significativamente mayor cuando el mismo es complementado con las estimaciones anaeróbicas utilizando ya sea el contenido de lactato sanguíneo o las mediciones de déficit de O_2 (ver Tabla 2). Estos resultados son muy interesantes, porque muchos modelos del gasto energético "extra" no consideran el componente anaeróbico.

Las mediciones de la variación del lactato en sangre (Δ lactato sanguíneo) fueron utilizadas para estimar el gasto energético anaeróbico a lo largo de la prueba de 6 minutos y fueron mayores que el gasto energético anaeróbico estimado través del déficit de O_2 determinado durante los primeros 3-minutos del ejercicio. Con el objetivo de identificar un componente anaeróbico del gasto energético "extra", nosotros también estimamos un segundo déficit de O_2 (4). Cuando se sumaron los dos déficits de O_2 , el valor obtenido fue casi idéntico a la estimación del gasto energético obtenida mediante la medición del lactato sanguíneo ($r=0,70$; $p=0,003$). Esto sugiere que la glucólisis anaeróbica contribuyó con el gasto energético antes y después del comienzo del componente lento del O_2 . Si bien es especulativo, no se observaron diferencias entre el segundo déficit de O_2 y el componente lento del VO_2 , lo que sugiere que hay contribuciones anaeróbicas y aeróbicas similares al aumento "extra" en el gasto de energía en esta prueba de 6 min. El déficit de O_2 y el consumo de oxígeno durante la recuperación, no pueden ser utilizados concurrentemente para estimar el gasto energético total (6). Sin embargo, las contribuciones relativas del gasto energético pueden ser estimadas a través de las mediciones del lactato sanguíneo: las contribuciones del ejercicio anaeróbico fueron ~13-14%, las contribuciones del ejercicio aeróbico fueron ~65% y las contribuciones de la recuperación fueron ~21-22% (Tabla 3).

Componente Lento del VO_2

El componente lento del VO_2 aportó menos del 6% al consumo de oxígeno durante el ejercicio, menos del 5% al gasto energético del ejercicio que contiene un componente aeróbico y uno anaeróbico y menos del 4% al gasto de energía total (la duración de la prueba afectó esta contribución) (Tabla 3). Sobre la base de las estimaciones absolutas y relativas, el gasto energético anaeróbico durante los 6 minutos del ejercicio superó al gasto energético del componente lento del VO_2 que se produjo durante los últimos 3 minutos del ejercicio.

Limitaciones

Nuestro estudio tiene naturalmente algunas limitaciones. La utilidad de la concentración de lactato sanguíneo, como marcador del gasto de energía anaeróbico, ha sido cuestionada, debido a la posibilidad de que las tasas de producción y degradación del mismo, sean diferentes entre los sujetos y entre los sexos. Sin embargo bajo estrictas condiciones de ejercicio breve y de alta intensidad, cuando el lactato sanguíneo alcanza un máximo (pico) luego de que el ejercicio haya finalizado (es decir, cuando la producción de lactato es mayor que la degradación del mismo), se ha observado, de hecho, que la variación del lactato sanguíneo (Δ lactato sanguíneo) proporciona una estimación razonable del gasto de energía anaeróbico (7, 8).

También se encuentra en discusión, la estimación del gasto de energía anaeróbico a través del déficit de oxígeno, debido a que la tasa máxima de gasto de energía se estima y no se mide directamente. Si bien, las estimaciones del gasto energético anaeróbico a través de las mediciones del lactato sanguíneo y del déficit de O_2 fueron notablemente similares, deberían ser diferentes debido a que el lactato sanguíneo refleja la resíntesis de ATP durante la glucólisis anaeróbica y no el uso de las reservas de ATP y fosfocreatina (PC). La conversión del déficit de O_2 en unidades equivalentes de oxígeno no sólo refleja que el gasto energético anaeróbico posee un componente glucolítico anaeróbico, si no que también refleja el uso de las reservas musculares de los fosfatos de alta energía, ATP y PC. Es sabido que todas las estimaciones del gasto energético anaeróbico son cuestionables, pero los datos anaeróbicos agrupados conducen a la misma conclusión; el metabolismo anaeróbico contribuye con el gasto energético global.

Comparaciones entre Ambos Sexos

Las estimaciones del gasto de energía anaeróbico a través del lactato sanguíneo y del déficit de O_2 revelaron que los hombres poseen un mayor componente anaeróbico en el gasto energético durante el ejercicio que las mujeres (Tabla 2). Los datos de consumo de oxígeno durante el ejercicio y la recuperación también indican lo mismo para el gasto de energía aeróbico (9, 10). La explicación más directa para el hecho de que en los varones se haya observado un mayor gasto energético tanto aeróbico como anaeróbico, en comparación con lo observado en las mujeres, es que los hombres eran más altos y más pesados, reclutaron más músculo y trabajaron con una producción de potencia mayor durante el ejercicio de ciclismo de alta intensidad de 6 minutos.

Los datos absolutos justificarían un mayor consumo de glucógeno (2, 11), concentración de lactato sanguíneo más elevada (12, 13), mayor déficit de oxígeno (14, 15) y mayor metabolismo anaeróbico (16) durante el ejercicio de alta intensidad, lo que sugiere que en los hombres se produjo un gasto energético anaeróbico mayor que en las mujeres. Sin embargo, es factible observar diferencias absolutas en el gasto de energía aeróbico y anaeróbico, cuando se pedalea a tasas de trabajo

que difieren en 60 W (sea en un mismo sujeto o entre sujetos o entre varones y mujeres).

En el caso de los varones, las estimaciones del gasto de energía aeróbico durante el ejercicio ($319,7 \pm 26,3$ kJ) fueron significativamente menores en comparación con las estimaciones del gasto energético, que fue complementado con estimaciones anaeróbicas empleando, ya sea la concentración de lactato sanguíneo ($386,1 \pm 27,6$ kJ) o el déficit total de O_2 ($389,3 \pm 22,2$ kJ) ($p=0,001$) (Tabla 2). Esta tendencia no se observó en las mujeres: gasto de energía aeróbico, $222,7 \pm 57,2$ kJ; aeróbico + lactato, $269,9 \pm 58,4$ kJ ($p=0,12$); aeróbico + déficit de O_2 , $267,2 \pm 63$ kJ ($p=0,16$). Se determinó que para alcanzar una potencia estadística de 0,80, era necesario contar con 23 mujeres para poder alcanzar la significancia estadística. Las comparaciones realizadas dentro de cada sexo sugieren que los varones poseían contribuciones anaeróbicas significativas al gasto energético durante el ejercicio, mientras que en las mujeres esto no se observaba (es importante resaltar que en el presente estudio, las desviaciones estándar de los datos obtenidos en mujeres eran el doble de los valores observados en los varones, lo que revela una gran variabilidad).

Pero las comparaciones mencionadas anteriormente se realizaron dentro de los grupos y no entre los grupos.

A diferencia de las comparaciones absolutas, las comparaciones relativas de gasto de energía entre mujeres y hombres revelaron una notable similitud (Tabla 3). No se observaron diferencias entre varones y mujeres en los porcentajes de gasto de energía aeróbico o anaeróbico del ejercicio, de la recuperación o en el gasto energético total. Estos resultados indican que las contribuciones aeróbicas y anaeróbicas al gasto de energía no son diferentes entre los sexos. Los sujetos pedalearon en la bicicleta durante 6 minutos a una intensidad fisiológica equivalente, lo que significa que los sujetos de ambos sexos realizaron los ejercicios de ciclismo a un porcentaje similar de la producción de potencia máxima (Tabla 3). La similitud en el índice de esfuerzo percibido (RPE) y $W \cdot kg^{-1}$ entre los sexos, también sugiere que la tasa de trabajo que nosotros elegimos, ubicada en un punto medio entre el umbral ventilatorio y el VO_2 máx., parecería haber representado adecuadamente un marcador fisiológico estandarizado. Al usar un marcador relativo de intensidad fisiológica para la estandarización de la prueba, el análisis de los datos quizás debería, para establecer una comparación entre los sexos, centralizarse en las diferencias relativas.

Conclusiones

Nosotros concluimos que las comparaciones establecidas entre los sexos, con respecto a la magnitud de las contribuciones metabólicas aeróbicas y anaeróbicas al gasto energético pueden ser confundidas debido al método de interpretación (análisis de los datos absolutos vs. análisis de los datos relativos). Sin embargo, cuando los datos fueron agrupados, el gasto de energía anaeróbico durante una serie de ejercicios de producción de potencia en estado estable de alta intensidad de 6 minutos, contribuyó significativamente con el gasto energético del ejercicio. El componente lento del VO_2 , que se incrementa en la mitad del ejercicio de ciclismo, fue un factor de contribución del gasto de energía total bastante pobre y no superó a las contribuciones anaeróbicas a lo largo del ejercicio.

Agradecimientos

Agradecemos Matthew Harnden, Justin Bryan, Kristy Parker y especialmente a Jennifer Baker por la ayuda con la recolección de los datos.

REFERENCIAS

1. Gaesser G. A. and Poole D. C (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. In: *Exercise and Sport Science Reviews Vol 24. edited by Holloszy JO. Baltimore:Williams & Wilkins, pp. 35-69*
2. Friedlander A. L., Casazza G. A., Horning M. A., Huie M. J., Piacentini M. F., Trimmer J. K. and Brooks G. A (1998). Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *J Appl Physiol* 85: 1175-1186
3. Scott C. B (1999). Oxygen deficit and slow oxygen component relationships between intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci* 12: 951-956
4. Wasserman K., Hansen J. E., Sue D. Y., Whipp B. J., Casaburi R (1994). Principles of Exercise Testing and Interpretation, 2 nd Ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1994, pp. 63-64
5. Bearden S. E., Moffatt R. J (2000). VO_2 kinetics and the O_2 deficit in heavy exercise. *J Appl Physiol* 88:1407-1412
6. Scott C. B (2005). Contribution of anaerobic energy expenditure to whole body thermogenesis. *Nutr Metab* 2: 14
7. Di Prampero P. E. and Ferretti G (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Resp Physiol* 118: 103-115
8. Margaria R., Cerretelli P. and Mangili F (1964). Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise in man.

9. Berg K. E (1991). Comparison of energy expenditure in men and women at rest and during exercise recovery. *J Sports Med Phys Fit* 31: 351-356
10. Smith J. and McNaughton L (1993). The effects of intensity of exercise on excess postexercise oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. *Eur J Appl Physiol* 67: 420-425
11. Froberg K. and Pedersen P. K (1984). Sex differences in endurance capacity and metabolic response to prolonged heavy exercise. *Eur J Appl Physiol* 52: 446-450
12. Ohkuwa T., Miyamura M., Andou Y. and Utsuno T (1998). Sex differences in lactate and glycerol levels during maximal aerobic and anaerobic running. *Eur J Appl Physiol* 57: 746-752
13. Weber C. L. and Schneider D. A (2001). Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1056-1059
14. Weber C. L. and Schneider D. A (2002). Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *J Appl Physiol* 92: 1795-1801
15. Tarnopolsky M. A (2003). Females and males: should nutritional recommendations be gender specific?. *Schweiz Zeit Sportmed Sporttrauma*. 51: 39-46

Cita Original

Scott C.B., Shaw B. and Leonard C. Aerobic and Anaerobic Contributions to Non-Steady State Energy Expenditure during Steady State Power Output. *JEPonline*; 11 (2): 56-63, 2008.