

Original

## Comparación del $VO_{2\text{máx}}$ y del tiempo hasta el agotamiento en dos modalidades de ejercicio en triatletas

B.H. Viana-Montaner, J.R. Gómez-Puerto, R. Centeno-Prada, J.D. Beas-Jiménez, C. Melero-Romero y M.E. Da Silva-Grigoletto

Centro Andaluz de Medicina del Deporte. España

### Historia del artículo:

Recibido el 3 de octubre de 2008

Aceptado el 13 de enero de 2009

### Palabras clave:

$VO_{2\text{máx}}$ .

Tiempo hasta el agotamiento.

Test de carga continua.

### Key words:

$VO_{2\text{máx}}$ .

Time to exhaustion.

Constant workload test.

### RESUMEN

**Objetivo.** El objetivo de este estudio fue comparar, en triatletas, si el tipo de ejercicio influye sobre el  $VO_{2\text{máx}}$  obtenido en un test incremental y sobre el tiempo hasta el agotamiento (TTE) medido en un test de carga constante, realizado a la intensidad a la que se alcanzó el consumo máximo de oxígeno ( $IVO_{2\text{máx}}$ ) cuando son evaluados en la misma sesión.

**Método.** Dieciséis triatletas varones (edad:  $29,5 \pm 8,4$  años; peso:  $71,7 \pm 4,3$ , kg; estatura  $174,8 \pm 5,6$  cm) realizaron un test incremental máximo para obtener el  $VO_{2\text{máx}}$  y el  $IVO_{2\text{máx}}$  y tras 30 minutos de recuperación un test de carga constante a la  $IVO_{2\text{máx}}$ , para obtener el TTE. Éstos fueron realizados en cicloergómetro y tapiz aleatoriamente en dos días diferentes, con un período entre ambos de 7 días.

**Resultados.** Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre el  $VO_{2\text{máx}}$  obtenido en el cicloergómetro ( $61,7 \pm 5,8$  ml/kg/min) y en el tapiz ( $65,6 \pm 6,4$  ml/kg/min). Por otro lado, en el TTE no se hallaron diferencias significativas ( $p = 0,80$ ) entre cicloergómetro y tapiz ( $222 \pm 59,5$  s frente a  $238 \pm 59,5$  s respectivamente).

**Conclusiones.** En triatletas el tipo de ejercicio influye sobre el  $VO_{2\text{máx}}$  obtenido en un test incremental, mientras que parece no afectar el TTE, al menos cuando el test de carga continua se realiza en la misma sesión que el incremental.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### ABSTRACT

#### Comparison of $VO_{2\text{máx}}$ and time to exhaustion in two exercise modalities in triathletes

**Purpose.** The aim of this study was to analyze whether the kind of exercise performed by triathletes may have an influence on  $VO_{2\text{máx}}$  got by the incremental test, and on the time to exhaustion (TTE) assessed in a constant workload test at  $IVO_{2\text{máx}}$ , both been assessed and compared during the same session.

**Method.** Sixteen male triathletes (age:  $29.5 \pm 8.4$  years; weight:  $71.7 \pm 4.3$ , kg; height:  $174.8 \pm 5.6$  cm) have carried out a maximal incremental test so as to reach  $VO_{2\text{máx}}$  and  $IVO_{2\text{máx}}$ , and after 30 minute recovery time, they went through a constant workload test at  $IVO_{2\text{máx}}$ , so as to get the TTE. These tests were carried out at random on cycloergometer and on treadmill in two different days over a period between them of around 4 to 7 days.

**Results.** Significant differences were found ( $p < 0.001$ ) between the  $VO_{2\text{máx}}$  got on the cycloergometer ( $61.7 \pm 5.8$  ml/kg/min) and on the treadmill ( $65.6 \pm 6.4$  ml/kg/min). Besides, on the TTE, there were no significant differences ( $p = 0.80$ ), between the cycloergometer and the treadmill ( $222 \pm 59.5$  s vs.  $238 \pm 59.5$  s, respectively).

**Conclusions.** In triathletes, the kind of exercise has an influence on the  $VO_{2\text{máx}}$  got through an incremental test, while it seems not to influence the TTE, at least when the constant workload test is not carried out during the same session as the incremental test.

© 2008 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

### Correspondencia:

B.H. Viana-Montaner.

Centro Andaluz de Medicina del Deporte.

Plaza de Vista Alegre, s/n.

14004 Córdoba.

Correo electrónico: bernardoh.viana@juntadeandalucia.es

## Introducción

La valoración del consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ) a través de una prueba de esfuerzo es uno de los tests más ampliamente utilizados cuando se realiza la evaluación de salud y aptitud a los deportistas. Se define  $VO_{2m\acute{a}x}$  como la cantidad máxima de  $O_2$  que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo, y es un parámetro indicador de la capacidad funcional de los individuos o de su potencia aeróbica<sup>1</sup>.

Un  $VO_{2m\acute{a}x}$  elevado es un prerrequisito para rendir a niveles de élite en eventos de resistencia, aunque no es el único requerimiento para obtener éxito<sup>2</sup>.

La más que demostrada importancia del  $VO_{2m\acute{a}x}$  como uno de los determinantes del rendimiento en ciertas disciplinas ha llevado a que distintos investigadores de las ciencias del deporte se cuestionen si el tipo de ergómetro empleado, entre otros factores, influye o no en el resultado de la prueba. Desde hace algunas décadas existen trabajos en los que se ha comparado el  $VO_{2m\acute{a}x}$  obtenido en diferentes ergómetros, fundamentalmente el tapiz rodante y el cicloergómetro<sup>3-7</sup>. Estos primeros estudios fueron realizados con muestras de personas activas, las cuales tienen más experiencia en un tipo de ejercicio. Más recientemente, en la literatura podemos encontrar trabajos realizados en triatletas, disciplina en la que se realizan ambas modalidades de trabajo muscular<sup>8-12</sup>.

Si bien el  $VO_{2m\acute{a}x}$  puede dar una referencia del nivel de rendimiento del atleta, a los entrenadores les interesan también aquellos datos que les sean útiles para programar entrenamiento y que les puedan aportar niveles de intensidad para las cargas a aplicar. Uno de ellos es la intensidad a la cual se alcanza el  $VO_{2m\acute{a}x}$  ( $IVO_{2m\acute{a}x}$ )<sup>13,14</sup>. Este dato les permite la prescripción de cargas para la realización de entrenamiento a intervalos de alta intensidad<sup>15</sup>.

No obstante, la intensidad es sólo una de las variables a tener en cuenta cuando se debe prescribir ejercicio, y otro de los datos a tener en cuenta es el tiempo que el deportista puede mantener dicha intensidad de trabajo hasta el agotamiento (TTE [*time to exhaustion*]). De hecho, autores como Billat et al<sup>16</sup> reportan que han encontrado diferentes TTE en deportistas con el mismo  $VO_{2m\acute{a}x}$  o igual intensidad a la que se alcanza el  $VO_{2m\acute{a}x}$ .

En la actualidad existen pocos estudios en los que se analiza el comportamiento del  $VO_{2m\acute{a}x}$  y el TTE en tapiz y cicloergómetro en individuos con experiencia en ambos tipos de ejercicio<sup>17</sup>, y posiblemente no haya ninguno en el que el test incremental y el de carga constante se realicen el mismo día. La importancia de la ejecución de ambos esfuerzos el mismo día reside en disminuir el número de visitas al laboratorio, circunstancia a la que se ven obligados los laboratorios para interrumpir el menor tiempo posible los días de entrenamiento.

El objetivo de este estudio fue comparar, en triatletas, si el tipo de ejercicio influye sobre el  $VO_{2m\acute{a}x}$  obtenido en test incremental y sobre el TTE medido en un test de carga constante, realizado a  $IVO_{2m\acute{a}x}$  cuando son evaluados en la misma sesión.

## Métodos

### Sujetos

El estudio se llevó a cabo en 16 triatletas varones. Los sujetos de la muestra eran pertenecientes a distintos clubes de Córdoba, y como prerrequi-

**Tabla 1**

Características de la muestra

VARIABLES	Media	± DE
Edad (años)	29,5	8,4
Peso (kg)	71,7	4,3
Talla (cm)	174,8	5,6

DE: desviación estándar

sito era necesario que estuvieran en temporada y que contaran con al menos dos años de experiencia de entrenamiento con bicicleta. Las características de la muestra se muestran en la tabla 1.

### Procedimientos

Los triatletas debieron concurrir al laboratorio en dos ocasiones para la realización de los tests con 7 días entre ambas visitas. También se solicitó que no se realizase, el día previo a cada evaluación, un esfuerzo superior al 20% de la carga media diaria (controlada a través de un cuestionario de los últimos 7 días de entrenamiento) para evitar un efecto residual del entrenamiento previo. En la primera visita se les realizó también una valoración de salud inicial y se les dio la explicación del estudio para obtener la correspondiente aceptación a participar. En cada ocasión realizaron un test de esfuerzo incremental máximo, y tras 30 minutos de recuperación llevaron a cabo un test de carga constante. El ergómetro empleado, tapiz rodante o cicloergómetro, se determinó de forma aleatoria.

### Tests

**Test de esfuerzo incremental máximo:** éste fue utilizado para obtener el  $VO_{2m\acute{a}x}$  y la intensidad alcanzada en el momento del  $VO_{2m\acute{a}x}$  ( $IVO_{2m\acute{a}x}$ ), tanto en tapiz como en cicloergómetro. Todos estos tests se llevaron a cabo entre las 9:00-12:00 de la mañana, bajo las mismas condiciones ambientales (21-24° C y 44-45% de humedad relativa). Las pruebas de esfuerzo se realizaron con un analizador de gases (Oxycon Delta de Jaeger, Hoechberg, Alemania) el cual contaba con un electrocardiograma (ECG) de 12 canales (Munich, Alemania). Para la prueba en tapiz, el empleado fue de la marca Technogym (Gambettola, Forli, Italia) y el protocolo que se utilizó fue de cargas progresivas con una etapa inicial de 3 minutos a 8 km/h, después una etapa de un minuto a 10 km/h e incrementos posteriores de 1 km/h cada minuto, teniendo todas las etapas una inclinación del tapiz del 1%. Para el test en cicloergómetro (Ergoline 800, Ergometrix, Barcelona, España) se empleó un protocolo incremental con una etapa inicial de 3 minutos a 50 W e incrementos posteriores de 30 W cada minuto. En ambas ocasiones, previamente a la etapa inicial, se realizaba una medición del  $VO_2$  en reposo durante 3 minutos y el test se detenía cuando el individuo era incapaz de mantener o el ritmo del tapiz o una cadencia de pedaleo superior a 60 revoluciones por minuto. Con los protocolos empleados se intentó que la duración de las pruebas fuera similar en ambos tipos de ergómetro. El valor  $VO_{2m\acute{a}x}$  que se tomó en cuenta fue el más alto obtenido cada 15 segundos, excluyéndose los valores marginales con una función del *software* del analizador.

**Tests de carga constante:** con el mismo se midió el tiempo que cada sujeto pudo mantener la carga de trabajo hasta el agotamiento (TTE). Cuando finalizaba el test incremental, y sin quitarle la máscara al sujeto, permanecía 5 minutos en recuperación activa (5 km/h o 50 W) y luego en

**Tabla 2**

Consumo máximo de oxígeno y tiempo hasta el agotamiento (TTE) en tapiz y cicloergómetro

	Media (DE)		Significación p	IC al 95%	
	Tapiz	Cicloergómetro		Inferior	Superior
VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)	65,6 (6,4)	61,7 (5,8)	0,001	2,2	5,6
TTE (segundos)	238,0 (59,4)	222,0 (59,5)	0,137	5,7	37,7

Los valores son media (desviación estándar [DE]). IC: intervalo de confianza.

reposo sentado. Una vez transcurridos 30 minutos de recuperación se realizaba el test de carga constante. La IVO<sub>2máx</sub> fue definida como la velocidad/potencia mínima en la cual se obtuvo el VO<sub>2máx</sub><sup>16</sup>. En el tapiz, para evitar caídas, se le hacía subir a una velocidad de 12 km/h, para en los 10 segundos siguientes incrementar ésta hasta llegar a la velocidad deseada (IVO<sub>2máx</sub>). En el cicloergómetro, para evitar el inconveniente de empezar a pedalear contra una resistencia muy alta, se le hacía pedalear con una carga de 50 W hasta alcanzar una cadencia de alrededor de 90 rpm, y durante los 10 segundos siguientes se incrementaba la carga hasta alcanzar la potencia estipulada (IVO<sub>2máx</sub>); durante el test se exigía que pedaleara entre 60 y 90 rpm. Los tests se consideraban finalizados cuando el deportista no podía mantener la velocidad de carrera en el tapiz y cuando en el cicloergómetro no era capaz de pedalear por encima de 60 rpm.

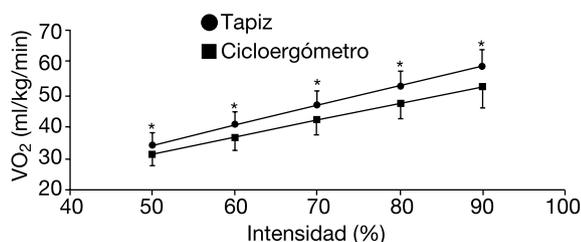
### Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como media y desviación estándar. La normalidad de la muestra fue calculada usando el test de Shapiro-Wilk. Se usó la "t" de Student para realizar las comparaciones de media (tapiz rodante frente a cicloergómetro). La estimación de la eficiencia mecánica a diferentes intensidades fue realizada a través de una regresión lineal. El nivel de significación aceptado fue de  $p \leq 0,05$ . Todas las pruebas del análisis estadístico se realizaron utilizando el paquete SPSS (V. 12).

### Resultados

Los resultados obtenidos en el test de esfuerzo incremental y en el de carga constante a la intensidad del VO<sub>2máx</sub>, tanto en tapiz como en cicloergómetro, se muestran en la tabla 2.

El VO<sub>2máx</sub> obtenido en el test incremental en el tapiz fue 3,9 ml/kg/min superior al que se recogió en el cicloergómetro, lo que equivale a un 5,9% de diferencia. Dicha diferencia fue estadísticamente significativa.



**Fig. 1.** Comparación de la eficiencia mecánica en tapiz rodante y cicloergómetro a distintas intensidades. Los valores se presentan como media y desviación estándar.

\*: Diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

En cuanto al test de carga constante, cuyas cargas medias fueron de 18,8 km/h para el tapiz y de 348,3 W para el cicloergómetro, si comparamos el tiempo hasta el agotamiento la diferencia es de 16 segundos de media más de duración cuando se realizó en tapiz, lo cual no fue estadísticamente significativo ( $p = 0,80$ ).

La comparación de la eficiencia mecánica entre tapiz rodante y cicloergómetro se muestra en la figura 1. En dicha figura se puede apreciar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en todas las intensidades analizadas (50, 60, 70, 80 y 90% de las intensidades máximas alcanzadas).

### Discusión

El principal hallazgo de este estudio es que en una muestra de triatletas, el VO<sub>2máx</sub> alcanzado con un test incremental en tapiz rodante fue superior con una diferencia estadísticamente significativa respecto al obtenido en cicloergómetro. Por el contrario, el TTE obtenido con tests de cargas continuas al IVO<sub>2máx</sub>, y realizado 30 minutos después de la finalización del test de esfuerzo, no mostró diferencias estadísticamente significativas.

Si analizamos los distintos trabajos realizados con el objeto de comparar el VO<sub>2máx</sub> en diferentes tipos de ergómetro, observaremos que han dado resultados controvertidos. Por un lado, podemos encontrar aquéllos en los que se encuentran diferencias significativas a favor del VO<sub>2máx</sub> obtenido en tapiz respecto del que se obtiene en cicloergómetro, como el de Glassford et al<sup>3</sup>, en donde encontraban una diferencia del 8%, el de Miyamura y Honda<sup>4</sup> o el de Carter et al<sup>5</sup>. Existen otros, como el de Astrand y Saltin<sup>7</sup>, que no encuentran diferencias entre las dos modalidades; y finalmente se puede citar el trabajo de Davis et al<sup>6</sup>, que encuentra diferencias a favor del VO<sub>2máx</sub> estimado en el cicloergómetro.

Uno de los inconvenientes con el que nos encontramos a la hora de analizar estos trabajos es que las muestras utilizadas eran de sujetos activos, que posiblemente tuvieran más o menos experiencia en alguna de las modalidades de ejercicio empleadas. Se podría pensar que a la hora de realizar un esfuerzo elevado, un individuo con buena capacidad aeróbica es posible que no tenga la fuerza suficiente para poder movilizar una elevada resistencia en la bicicleta. Diversos autores ya han demostrado la diferente eficiencia de los ejercicios realizados en tapiz y en bicicleta<sup>18</sup>.

Existen trabajos que, al igual que el presente, son llevados a cabo con triatletas, disciplina deportiva en la que se realizan ambos tipos de ejercicio. Cabe destacar que en la muestra del presente trabajo se consideró como criterio de inclusión el que los deportistas tuvieran al menos dos años de experiencia en el entrenamiento con bicicleta para evitar la influencia que podría ejercer el hecho de tener poco trabajo acumulado con este tipo de ejercicio. A pesar de ello, la diferencia estadísticamente significativa hallada en este trabajo a favor del VO<sub>2máx</sub> obtenido en tapiz, coincide con la encontrada por otros autores<sup>9</sup>, cuyo

trabajo con triatletas varones muestra un  $VO_{2\text{máx}}$  de  $75,4 \pm 7,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en tapiz frente a  $70,3 \pm 6,0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en cicloergómetro, y el mismo autor<sup>10</sup> en 1991, con triatletas mujeres, encuentra resultados similares. Consideramos que, a pesar de la experiencia en bicicleta de los triatletas de este estudio, la masa muscular empleada en la carrera sobre el tapiz es superior, y esto conlleva un mayor  $VO_{2\text{máx}}$ . Además, la potencia mecánica empleada para movilizar los segmentos corporales en ambas modalidades es diferente. Se estima que en la carrera es necesario más del 80% de la potencia mecánica para acelerar y desacelerar los diferentes segmentos corporales<sup>19</sup>. En el ciclismo se asume que los procesos de aceleración y desaceleración de las piernas no son necesarios<sup>20</sup>, y esto conlleva una mejor eficiencia mecánica, tal y como se observa en la figura 1. No obstante, en la literatura abundan los trabajos en los que se compara el rendimiento de triatletas en ambos tipos de ergómetros, y no hallan diferencias en el  $VO_{2\text{máx}}$  obtenido mediante ambos tipos de ejercicio<sup>8,11,12</sup>. Tampoco encuentran diferencias Caputo y Denadei<sup>17</sup> en su estudio en 11 triatletas, trabajo en el que el  $VO_{2\text{máx}}$  obtenido en cicloergómetro es muy similar al nuestro, pero es inferior el que obtiene en tapiz. No obstante, se debe hacer hincapié en que el protocolo empleado por estos autores es diferente (escalones de mayor duración).

En cuanto a los valores obtenidos en el TTE encontramos que en el cicloergómetro son iguales a los reportados por Billat et al<sup>21</sup>, y los obtenidos en el tapiz son sensiblemente inferiores. No obstante, habría que reseñar que la muestra de dicho trabajo era de ciclistas para el test en cicloergómetro y de corredores para el del tapiz (especialistas para cada modalidad de ejercicio), y que, en ambos casos, el test de carga constante se realizaba con una semana de diferencia respecto del incremental.

En el estudio de Caputo y Denadei<sup>17</sup>, en el que se valora una muestra de triatletas en ambos tipos de ergómetro, los valores de TTE son superiores a los del presente estudio en ambas modalidades de ejercicio, 390,4 segundos en cicloergómetro y 324,6 segundos en tapiz. En cuanto a la comparación del TTE, estos autores obtienen diferencias estadísticamente significativas, lo que difiere con lo encontrado en nuestro trabajo, en el que no se hallaron diferencias significativas ( $p = 0,80$ ) entre cicloergómetro y tapiz ( $222 \pm 59,5 \text{ s}$  frente a  $238 \pm 59,5 \text{ s}$ , respectivamente). Habría que tener en cuenta que en aquel trabajo, y al igual que en la mayoría, los tests de carga constante se realizaron con una semana de diferencia respecto de los incrementales. En la realidad del día a día, hacer concurrir en varias ocasiones a un deportista al laboratorio es casi impracticable. Por ello en este estudio se realizaron ambas valoraciones (test incremental y de carga constante) para cada modalidad de ejercicio en una misma sesión, dejando un reposo de 30 minutos, tiempo en el que se asegura, al menos, que los valores de  $VO_2$  vuelvan a los basales<sup>22</sup>. Otra cuestión sobre la que incidir para poder explicar que la diferencia encontrada, cercana al 7%, no alcanzara a ser estadísticamente significativa, es que los valores de TTE que se obtuvieron muestran una gran variabilidad, al igual que otros estudios<sup>17,21</sup>, lo cual se refleja en desvíos estándar muy altos. Esta alta variabilidad del TTE, de entre un 30-45%, que algunos piensan que se debería a una mayor capacidad de resistencia aeróbica y otros<sup>23</sup> a diferencias individuales de la capacidad anaeróbica, obliga a que seamos cautos a la hora de comparar los TTE de los diferentes trabajos. Al igual que Caputo y Denadei<sup>17</sup> pensamos que esta alta variabilidad se debe en gran medida a factores psicológicos a la hora de percibir la fatiga, y a controles insuficientemente rígidos de estos factores en los protocolos de los distintos trabajos realizados.

Posiblemente este trabajo sea el primero en el que la comparación del TTE en diferentes modalidades de ejercicio se realice en una muestra de individuos con experiencia en ambos tipos de trabajo, y que el test de carga continua se realice el mismo día que el incremental. Esto se acerca más a la realidad del día a día en el trabajo de laboratorio, pero conlleva una menor duración del TTE, lo cual hace que debamos tenerlo en cuenta a la hora de analizarlo, ya que los valores de referencia de entrenamiento dados como óptimos a determinados porcentajes del TTE<sup>24-27</sup> han sido obtenidos en tests llevados a cabo en días diferentes.

En conclusión, en triatletas el tipo de ejercicio influye sobre el  $VO_{2\text{máx}}$  obtenido en un test incremental, mientras que parece no afectar el TTE, al menos cuando el test de carga continua se realiza en la misma sesión que el incremental.

## Bibliografía

- López Cicharro J, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3ª ed. Buenos Aires, Madrid: Médica Panamericana; 2006.
- Brooks GA, Fahey TD, White TP. Exercise physiology. Human bioenergetics and its applications. 2nd ed. Mountain View. California: Mayfield Publishing Company; 1996.
- Glassford RG, Baycroft GHY, Sedgwick AW, Macnab RBJ. Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. *J Appl Physiol.* 1965;20:509-13.
- Miyamura M, Honda Y. Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol.* 1972;32:185-8.
- Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams CA, Doust JH. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol.* 2000;89:899-907.
- Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol.* 1976;41:544-50.
- Astrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol.* 1961;16:977-81.
- Khorth WM, Morgan DW, Bates B, Skinner JS. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19(1):51-5.
- Schneider DA, Lacroix KA, Atkinson GR, Troped PJ, Pollack J. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(2):257-64.
- Schneider DA, Pollack J. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. *Int J Sports Med.* 1991;12(4):379-83.
- Medelli J, Maingourd Y, Bouferrache B, Bach V, Freville M, Libert JP. Maximal oxygen uptake and aerobic-anaerobic transition on treadmill and bicycle in triathletes. *Japan J Physiol.* 1993;43:347-60.
- Hue O, Le Gallais D, Chollet D, Préfaut C. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can J Appl Physiol.* 2000;25(2):102-13.
- Billat VL, Morton RH, Blondel N, Bertyhoïn S, Bocquet V, Koralsztein JP, et al. Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(3):178-87.
- Hill DW, Williams CS, Burt SE. Response to exercise at 92% and 100% of the velocity associated with  $VO_{2\text{máx}}$ . *Int J Sports Med.* 1997;18(5):325-9.
- Billat VL. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. *Sports Med.* 2001;31:13-31.
- Billat VL, Koralsztein JP. Significance of the velocity at  $VO_{2\text{máx}}$  and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.* 1996;22:90-108.
- Caputo F, Denadei BS. Exercise mode affects the time to achieve  $VO_{2\text{máx}}$  without influencing maximal exercise Time at the intensity associated with  $VO_{2\text{máx}}$  in triathletes. *Int J Sports Med.* 2006;27:798-803.
- Bijker KE, de Groot G, Hollander AP. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87(6):556-61.
- Van Ingen Schenau GJ, Jacobs R, de Koning JJ. Can cycle power predict sprint running performance? *Eur J Appl Physiol.* 1991;63:255-60.
- de Koning JJ, Van Ingen Schenau GJ. On the estimation of mechanical power in endurance sports. *Sport Sci Rev.* 1994;2:34-54.
- Billat VL, Faina M, Sardella F, Marini C, Fanton F, Lupo S, et al. A comparison of time to exhaustion at  $VO_{2\text{máx}}$  in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics.* 1996;39:267-77.
- Burnley M, Dust JH, Ball D, Jones AM. Effects of prior heavy exercise on  $VO_2$  kinetics during heavy exercise are related to changes in muscle activity. *J Appl Physiol.* 2002;93:167-74.

23. Faina M, Billat VL, Squadrone R, de Angelis M, Koralsztein JP, Dalmonte A. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at with maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 1997;76:13-20.
24. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein JP. Interval training at  $VO_{2max}$ : effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:156-63.
25. Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ. Effects of 4-wk training using  $V_{max}/T_{max}$  on  $VO_{2max}$  and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:892-6.
26. Smith TP, Coombes JS, Geraghty DP. Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal  $O_2$  uptake and the time for which this can be maintained. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:337-43.
27. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1801-7.