

Peinado, A.B.; Benito, P.J.; Lorenzo, I.; Maffulli, N.; Brito-Ojeda, E.; Ruiz-Caballero, J.A. y Calderón, F.J. (2014). Cálculo del área entre umbrales ventilatorios: un método para examinar la transición aeróbica-anaeróbica / Calculation of the interventilatory threshold area: a method for examining the aerobic-anaerobic transition. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 14 (53) pp. 105-117. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista53/artcalculo430.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista53/artcalculo430.htm)

ORIGINAL

CÁLCULO DEL ÁREA ENTRE UMBRALES VENTILATORIOS: UN MÉTODO PARA EXAMINAR LA TRANSICIÓN AERÓBICA-ANAERÓBICA

CALCULATION OF THE INTERVENTILATORY THRESHOLD AREA: A METHOD FOR EXAMINING THE AEROBIC-ANAEROBIC TRANSITION

Peinado, A.B.¹; Benito, P.J.²; Lorenzo, I.³; Maffulli, N.⁴; Brito-Ojeda, E.⁵; Ruiz-Caballero, J.A.⁶ y Calderón, F.J.⁷

¹ Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Profesora Ayudante Doctor. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid, España (anabelen.peinado@upm.es).

² Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Profesor Titular de Universidad. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid, España (pedroj.benito@upm.es).

³ Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid, España (ilcabs@yahoo.es).

⁴ Doctor en Medicina. Centre for Sports and Exercise Medicine, Queen Mary University of London, Barts and The London School of Medicine and Dentistry, Mile End Hospital. London, England (n.maffulli@qmul.ac.uk).

⁵ Doctora en Medicina. Profesora de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España (ebrito@def.ulpgc.es).

⁶ Doctor en Medicina y Cirugía. Profesor Titular de Universidad. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España (jruiz@def.ulpgc.es).

⁷ Doctor en Medicina y Cirugía. Profesor Titular de Universidad. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF). Universidad Politécnica de Madrid, España (franciscojavier.calderon@upm.es).

Código UNESCO / UNESCO Code: 2411 Fisiología Humana / Human Physiology

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 6. Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology

Recibido 19 de septiembre de 2011 **Received** September 19, 2011

Aceptado 7 de enero de 2012 **Accepted** January 7, 2012

RESUMEN

El objetivo fue determinar la relación entre el área interumbrales (ITA) [la zona comprendida entre el primer y el segundo umbral ventilatorio (VT_1 y VT_2) en la función VO_2/V_E , Carga/ VO_2 y Carga/ V_E] y las variables ergoespirométricas. Treinta y tres hombres realizaron un test incremental. El ITA se calculó: 1) como la integral definida por el área entre VT_1 y VT_2 bajo las curvas de VO_2/V_E , Carga/ VO_2 y Carga/ V_E y 2) como la suma de las áreas descritas por el triángulo y rectángulo entre los mismos puntos. El ITA para la función Carga/ V_E se correlacionó positivamente ($p < 0,01$) con la carga en VT_2 ($r = 0,831$) y la ventilación en VT_2 ($r = 0,799$). El ITA para la función VO_2/V_E fue significativamente mayor en los ciclistas que en los estudiantes. La determinación del ITA es un método simple para evaluar la transición aeróbica-anaeróbica durante las pruebas de esfuerzo incremental.

PALABRAS CLAVES: Umbral anaeróbico, transición aeróbica-anaeróbica, umbral ventilatorio, consumo de oxígeno.

ABSTRACT

The aim was to determine the relationship between the interthreshold area (ITA) [the area between the first and second ventilatory threshold (VT_1 and VT_2) for the function VO_2/V_E , load/ VO_2 and load/ V_E] and the traditional variables measured. Thirty-three men underwent an incremental test. The ITA was calculated: 1) as the integral defined by the area between VT_1 and VT_2 under the curves for the functions VO_2/V_E , load/ VO_2 and load/ V_E and 2) as the simple sum of the areas described by the triangle and rectangle between the same points. The mean ITA for the function load/ V_E was positively correlated ($p < 0.01$) with load at VT_2 ($r=0.831$) and ventilation at VT_2 ($r=0.799$). The mean ITA for the function VO_2/V_E was significantly greater in the cyclists than in the students. The ITA for the function load/ V_E differed between March and July as training progressed. The determination of the ITA is a simple method of assessing the aerobic-anaerobic transition process during incremental exercise tests.

KEYWORDS: Anaerobic threshold, aerobic-anaerobic transition, ventilatory threshold, oxygen uptake.

INTRODUCCIÓN

Numerosas definiciones e interpretaciones se han dado a la transición aeróbica-anaeróbica, definiéndose como el paso del metabolismo aeróbico al anaeróbico. Esta ha sido muy utilizada para la prescripción del entrenamiento y el análisis del rendimiento en deportes de resistencia (1-10). Las razones de la diversidad de términos se deben, en gran medida, a los diferentes métodos de determinación propuestos a lo largo del tiempo. Siguiendo a Skinner y McLellan (11), la fase de ejercicio hasta el primer umbral ventilatorio es principalmente

aeróbica. La fase entre los dos umbrales ventilatorios correspondería a la transición aeróbica-anaeróbica. Por último, el ejercicio realizado a una intensidad superior al segundo umbral ventilatorio es principalmente anaeróbico. Identificar los umbrales ventilatorios no es técnicamente fácil, así como la relación entre ambos y los mecanismos de producción de energía, debido a las diferentes metodologías empleadas. Las bases fisiológicas de los diferentes procedimientos usados para calcular estos umbrales han sido objeto de debate (1, 2, 4) y algunos estudios han mostrado una disociación entre los umbrales ventilatorios y de lactato, y han cuestionado la relación entre estos dos métodos de estudio de la transición aeróbica-anaeróbica (12). En este estudio los umbrales serán identificados siguiendo los criterios ventilatorios. El primer umbral se denomina umbral ventilatorio 1 (VT_1) y el segundo umbral ventilatorio 2 (VT_2).

Diversos estudios han aportado datos descriptivos de los umbrales ventilatorios en diferentes grupos de deportistas (13-19). Sin embargo, no hemos encontrado estudios que hagan referencia a la relación existente entre ambos umbrales. Por otra parte, diferentes trabajos han analizado el comportamiento de la transición aeróbica-anaeróbica a lo largo del proceso de entrenamiento durante una temporada (14, 18, 19) o a través de diversas temporadas (8, 20, 21). Los resultados han sido contradictorios en relación a las variaciones que experimentan los umbrales con el entrenamiento.

Se asume que los umbrales ventilatorios coinciden o son causados por el aumento de la concentración de lactato en sangre (10, 22-24). Una relación ideal de los umbrales ventilatorios sería que se produjeran lo más próximos al consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}), de manera que el organismo estuviera el mayor tiempo posible en condiciones de utilizar adecuadamente el oxígeno y con una menor concentración de lactato en plasma. La acidosis metabólica es más pronunciada una vez se ha sobrepasado VT_2 , situación en la que una hiperventilación compensadora del estado de acidosis permite mantener más tiempo un ejercicio en condiciones de incremento de lactato en sangre.

Suponiendo que a partir de VT_1 a VT_2 se produce una hiperpnea isocápnica, y VT_2 coincide y es causado por la acumulación exponencial de lactato en sangre, sería importante establecer una única variable para estudiar la relación entre los dos umbrales ventilatorios. Por tanto, proponemos que la transición aeróbica-anaeróbica puede ser examinada con una única variable: el área interumbrales (ITA) entre VT_1 y VT_2 con respecto a las funciones consumo de oxígeno/ventilación (VO_2/V_E), carga/consumo de oxígeno ($Carga/VO_2$) y carga/ventilación ($Carga/V_E$). Como objetivos secundarios nos planteamos estudiar las posibles diferencias en el valor del área interumbrales entre deportistas de élite y aficionados. Nuestra hipótesis es que a mejor resistencia mayor es el área interumbrales. Por último, pretendemos comprobar que el área puede cambiar con el estado de entrenamiento. El objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre el ITA y las variables ergoespirométricas medidas. Como objetivos secundarios se plantean examinar las diferencias en el ITA entre atletas de élite y estudiantes de

educación física, junto con los cambios en el ITA durante una temporada deportiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

SUJETOS

En el estudio participaron 33 varones sanos, 18 eran ciclistas de la categoría *Élite-Sub23* (amateur) (20 ± 2 años, $177,5 \pm 7,3$ cm y $69,7 \pm 8,5$ kg) y el resto ($n=15$) eran estudiantes de educación física (21 ± 3 años, $174,4 \pm 6,3$ cm y $73,2 \pm 6,3$ kg), que realizaban la actividad física propia de los estudios, pero no se dedicaban al ciclismo. Todos los sujetos fueron informados de la naturaleza del estudio y las características del mismo, dando su consentimiento y compromiso por escrito, de acuerdo con las premisas dictadas en la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (25). Todos los procedimientos descritos en el estudio fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Politécnica de Madrid.

PROTOCOLO

Todos los sujetos realizaron una prueba de esfuerzo incremental en rampa hasta el agotamiento, en un cicloergómetro de freno electromagnético Jaeger ER800 (Erich Jaeger, Alemania), con incrementos de 5 W cada 12 segundos ($25 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$). Durante toda la prueba se analizaron los gases espirados con un equipo Jaeger Oxicon Pro[®] (Erich Jaeger, Alemania), obteniéndose todos los parámetros ergoespirométricos respiración a respiración. La frecuencia cardíaca (FC) se monitorizó durante las pruebas usando un pulsómetro (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) coordinado con el analizador de gases. Se determinaron los umbrales ventilatorios (2, 26) y el $\text{VO}_{2\text{max}}$ (27). A ocho de los ciclistas se les realizó un seguimiento anual y se les repitió la prueba máxima en tres momentos diferentes de la temporada (diciembre, marzo y julio). Todas las pruebas fueron realizadas en condiciones atmosféricas similares: $22,85 \pm 0,63$ °C de temperatura, $62,46 \pm 4,37$ % de humedad y $703,54 \pm 7,41$ mmHg de presión atmosférica. Las pruebas fueron consideradas máximas cuando se cumplieron al menos dos de los siguientes criterios: cociente respiratorio (RER) por encima de 1,10, estabilización del VO_2 (variaciones menores de $100 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$) y frecuencia cardíaca máxima (FC_{max}) calculada como $220 - \text{edad}$ (28). El $\text{VO}_{2\text{max}}$ fue determinado como la media de los dos valores más altos alcanzados en la máxima carga alcanzada por cada sujeto (29), y VT_1 y VT_2 fueron determinados en el punto de mayor acuerdo entre los diferentes criterios ventilatorios. VT_1 fue calculado 1) según el método de *V-Slope* (30), 2) como el primer incremento exponencial en la V_E y como el primer incremento en la relación V_E/VO_2 sin que incremente V_E/VCO_2 (producción de dióxido de carbono) (31). VT_2 se determinó como el segundo incremento exponencial de la V_E con respecto a la carga, y como la intensidad a la que incrementan tanto V_E/VO_2 como V_E/VCO_2 (31).

CÁLCULO DEL ÁREA INTERUMBRALES (ITA)

Para estudiar la relación entre los umbrales ventilatorios se determinó el área comprendida entre ambos en las funciones VO_2/V_E ($L^2 \cdot \text{min}^{-2}$), Carga/VO_2 ($W \cdot L \cdot \text{min}^{-2}$) y Carga/V_E ($W \cdot L \cdot \text{min}^{-2}$). Para cada uno de los sujetos el área se determinó mediante dos procedimientos:

- 1) Integral definida entre VT_1 y VT_2 para las funciones VO_2/V_E , Carga/VO_2 y Carga/V_E . El cálculo se realizó con el programa matemático Matlab versión 7.8.0.
- 2) Suma de las áreas del triángulo y rectángulo descritos bajo la curva entre VT_1 y VT_2 en cualquiera de las funciones estudiadas (figura 1). Así, por ejemplo, la expresión matemática para el cálculo del área en la función VO_2/V_E sería la siguiente:

Área del triángulo para la relación VO_2/V_E
(Ecuación 1)

$$\text{ÁREA} = \frac{(VO_{2_VT2} - VO_{2_VT1}) \times (V_{E_VT2} - V_{E_VT1})}{2}$$

+

Área del rectángulo para la relación VO_2/V_E (Ecuación 2)

$$\text{ÁREA} = (VO_{2_VT2} - VO_{2_VT1}) \times V_{E_VT1}$$

El área total se calculó sumando las anteriores áreas (triángulo y rectángulo). Los mismos cálculos se realizaron para las relaciones Carga/V_E y Carga/VO_2 .

Los resultados obtenidos por ambos procedimientos se compararon utilizando una prueba *t*-Student para muestras relacionadas y calculando el coeficiente de correlación de Pearson. No se obtuvieron diferencias significativas y las correlaciones fueron significativamente superiores a 0,9. Por ello, el resto de análisis estadísticos se realizaron con los datos obtenidos por el segundo procedimiento.

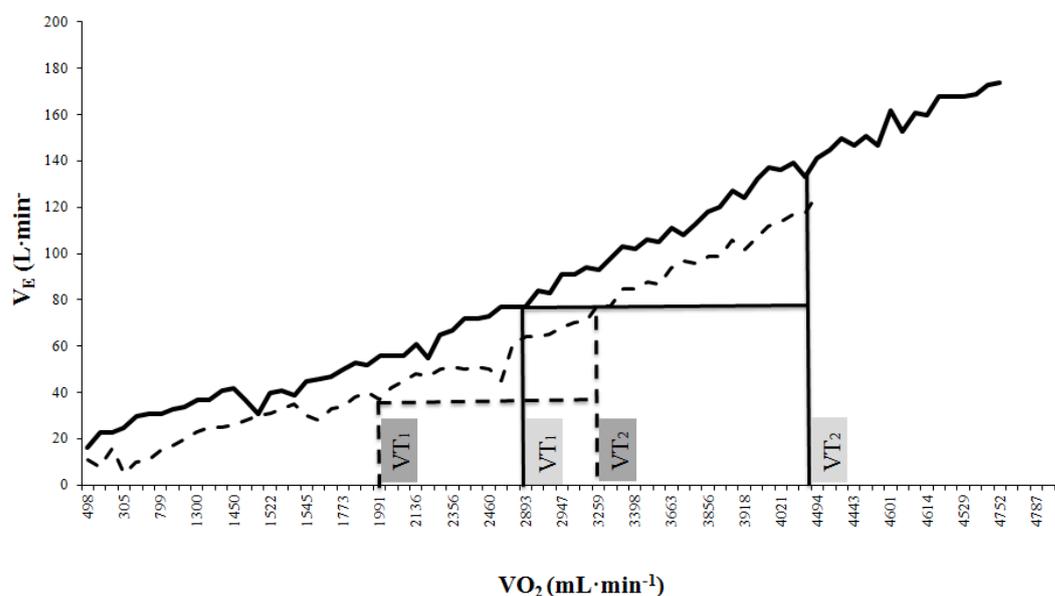


Figura. 1 Procedimiento para calcular el ITA (suma de las áreas del triángulo y rectángulo entre VT_1 y VT_2) en este caso para la función VO_2/V_E . Ciclistas (líneas continuas) vs. estudiantes (líneas discontinuas)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tras comprobar la normalidad de las distribuciones se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson, con el objetivo de estudiar las relaciones existentes entre las áreas calculadas y las diferentes variables ergoespirométricas. Para comprobar la existencia de diferencias entre los ciclistas y los estudiantes participantes en el estudio se utilizó una prueba *t*-Student para muestras no relacionadas. Por último, se realizó un ANOVA de un factor (momento de la temporada) para estudiar la evolución del ITA a lo largo de una temporada. Cuando alguna variable manifestó diferencias, se utilizó un análisis *post hoc* de Scheffé. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 13.0 para Windows® (SPSS Worldwide Headquarters, Chicago, IL). El nivel de significación estadística se estableció en $\alpha < 0,05$.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los coeficientes de correlación obtenidos entre las variables estudiadas y el ITA calculado en las diferentes funciones (VO_2/V_E , $Carga/VO_2$ y $Carga/V_E$), tomando a todos los sujetos en conjunto ($n=33$). El VO_2max obtuvo correlaciones significativas y superiores a 0,6 con el ITA en cualquiera de las funciones, siendo la correlación obtenida con el ITA de la función VO_2/V_E la más elevada ($r=0,716$; $p<0,01$). Mientras que no se obtuvieron relaciones significativas entre las variables correspondientes VT_1 y

el ITA en cualquiera de las funciones. Sin embargo, variables como la Carga_{VT2}, el VO_{2_VT2}, el VCO_{2_VT2} y la V_{E_VT2} sí mostraron elevadas relaciones significativas con el ITA para todas las funciones (p<0,01).

Tabla 1. Correlaciones obtenidas entre las áreas calculadas y las diferentes variables ergoespirométricas

	VO ₂ /V _E	Carga/VO ₂	Carga/V _E
VO _{2max}	0,716**	0,652**	0,676**
Carga _{VT1}	0,403*	0,433*	0,574**
FC _{VT1}	0,066	0,001	-0,003
VO _{2_VT1}	0,438*	0,416*	0,555**
VCO _{2_VT1}	0,346*	0,346*	0,509**
RER _{VT1}	-0,298	-0,251	-0,136
V _{E_VT1}	0,317	0,284	0,505**
%VO _{2_VT1}	0,071	0,089	0,284
Carga _{VT2}	0,673**	0,763**	0,831**
FC _{VT2}	0,413*	0,429*	0,399*
VO _{2_VT2}	0,803**	0,754**	0,758**
VCO _{2_VT2}	0,775**	0,774**	0,784**
RER _{VT2}	-0,319	-0,191	-0,167
V _{E_VT2}	0,691**	0,640**	0,799**
%VO _{2_VT2}	0,467**	0,470**	0,417*
VO ₂ /V _E		0,872**	0,752**
Carga/VO ₂	0,872**		0,869**
Carga/V _E	0,752**	0,869**	

*p<0,05. **p<0,01. Carga_{VT1}: carga en el umbral ventilatorio 1; FC_{VT1}: frecuencia cardiaca en VT₁; VO_{2_VT1}: consumo de oxígeno en VT₁; VCO_{2_VT1}: producción de dióxido de carbono en VT₁; RER_{VT1}: cociente respiratorio en VT₁; V_{E_VT1}: ventilación en VT₁; %VO_{2_VT1}: porcentaje de consumo de oxígeno máximo en VT₁; Carga_{VT2}: carga en el umbral ventilatorio 2; FC_{VT2}: frecuencia cardiaca en VT₂; VO_{2_VT2}: consumo de oxígeno en VT₂; VCO_{2_VT2}: producción de dióxido de carbono en VT₂; RER_{VT2}: cociente respiratorio en VT₂; V_{E_VT2}: ventilación en VT₂; %VO_{2_VT2}: porcentaje de consumo de oxígeno máximo en VT₂.

Al comparar el grupo de ciclistas con el de estudiantes obtuvimos diferencias significativas en la mayoría de las variables estudiadas (tabla 2). El ITA para las funciones VO₂/V_E, Carga/VO₂ y Carga/V_E fue significativamente mayor en el grupo de ciclistas (120 ± 34 versus 86 ± 40 L²·min², 434 ± 130 versus 300 ± 120 W·L·min² y 10862 ± 2196 versus 7367 ± 2753 W·L·min², respectivamente). Los umbrales ventilatorios, expresados en porcentaje del VO_{2max}, se encontraron desplazados de forma significativa hacia la derecha en

el grupo de ciclistas, es decir, más próximos al VO_{2max} : 63 ± 7 % para los ciclistas y 48 ± 8 % para el grupo de estudiantes en el caso del VT_1 , mientras que el VT_2 se situó al 88 ± 5 % para el grupo de ciclistas y 81 ± 8 % para el grupo de estudiantes.

Tabla 2. Comparación ciclistas (n=18) versus estudiantes (n=15)

	Ciclistas	Estudiantes
VO_{2max} (mL·min ⁻¹)	5027 ± 498	4020 ± 746*
Carga _{VT1} (W)	245 ± 35	142 ± 34*
FC _{VT1} (beats·min ⁻¹)	146 ± 32	130 ± 15
VO_{2_VT1} (mL·min ⁻¹)	3183 ± 460	1912 ± 443*
VCO_{2_VT1} (mL·min ⁻¹)	2722 ± 429	1663 ± 445*
RER _{VT1}	0,86 ± 0.07	0,86 ± 0.06
V_{E_VT1} (L·min ⁻¹)	72 ± 13	42 ± 11*
% VO_{2_VT1}	63 ± 7	48 ± 8*
Carga _{VT2} (W)	355 ± 37	258 ± 40*
FC _{VT2} (beats·min ⁻¹)	180 ± 9	171 ± 12*
VO_{2_VT2} (mL·min ⁻¹)	4413 ± 507	3240 ± 612*
VCO_{2_VT2} (mL·min ⁻¹)	4291 ± 528	3366 ± 612*
RER _{VT2}	0,97 ± 0.07	1,04 ± 0.05*
V_{E_VT2} (L·min ⁻¹)	119 ± 14	86 ± 19*
% VO_{2_VT2}	88 ± 5	81 ± 8*
VO_2/V_E (L ² ·min ⁻²)	120 ± 34	86 ± 40*
Carga/ VO_2 (W·L·min ⁻²)	434 ± 130	300 ± 120*
Carga/ V_E (W·L·min ⁻²)	10862 ± 2196	7367 ± 2753*

* Diferencias significativas con el grupo de ciclistas. Los datos se muestran como media ± desviación estándar.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos al comparar las variables estudiadas en tres momentos diferentes (diciembre, marzo y julio) de una temporada de entrenamiento. Mientras que el ITA para la función VO_2/V_E no se modificó significativamente, el ITA para la función Carga/ VO_2 disminuyó de forma significativa en marzo y el ITA para la función Carga/ V_E aumentó significativamente en marzo, aunque disminuyó significativamente en julio volviendo a los valores de diciembre. Sin embargo, la posición del VT_2 en porcentaje del VO_{2max} no experimentó una variación significativa a lo largo de la temporada, aunque el VT_1 sí incrementó significativamente en marzo y julio con respecto a diciembre.

Tabla 3. Evolución del área a lo largo de una temporada de entrenamiento (n=8 ciclistas)

	Diciembre	Marzo	Julio
VO_2/V_E ($L^2 \cdot \text{min}^{-2}$)	132 \pm 32	171 \pm 54	160 \pm 42
Carga/ VO_2 ($W \cdot L \cdot \text{min}^{-2}$)	371 \pm 107	228 \pm 76*	310 \pm 84
Carga/ V_E ($W \cdot L \cdot \text{min}^{-2}$)	12118 \pm 2697	12322 \pm 5888*	11676 \pm 3428#
% VO_{2_VT1}	51 \pm 6	61 \pm 3*	59 \pm 5*
% VO_{2_VT2}	84 \pm 4	85 \pm 2	89 \pm 5

* Diferencias significativas con diciembre. # Diferencias significativas con marzo. Los datos se muestran como media \pm desviación estándar.

DISCUSIÓN

El principal hallazgo de este trabajo ha sido encontrar una fuerte relación significativa entre el ITA y el VO_{2max} y VT_2 . Además el ITA fue mayor en el grupo de ciclistas y cambió significativamente a lo largo de la temporada en este grupo. Este trabajo propone una forma sencilla de relacionar los dos umbrales ventilatorios durante la transición aeróbica-anaeróbica. Se han encontrado relaciones significativas entre el ITA calculado en las tres funciones (VO_2/V_E , Carga/ VO_2 y Carga/ V_E), el VO_{2max} y las variables correspondientes al VT_2 . Debido a la fuerte correlación entre el área calculada, a través de la suma del área del triángulo y rectángulo definido entre los dos umbrales, con la integral definida entre los mismos puntos, proponemos este sencillo método para calcular el ITA. Para nuestro conocimiento, ningún trabajo anterior ha expresado la transición aeróbica-anaeróbica a través de una única variable, como lo es el área comprendida entre VT_1 y VT_2 .

Varios autores han mostrado que los umbrales se modifican con el entrenamiento (19, 32). De esta forma, si las funciones VO_2/V_E , Carga/ VO_2 y Carga/ V_E son modificadas, el ITA incrementará o disminuirá según las características del entrenamiento. Por ello, es probable que el entrenamiento de resistencia produzca un incremento en el ITA como resultado de un desplazamiento de los umbrales hacia el VO_{2max} . Una mayor área podría ser el resultado de una mayor capacidad para realizar esfuerzos de resistencia dado que el deportista sería capaz de mantener una situación de amortiguación de la carga ácida durante más tiempo. Diversos trabajos han demostrado una buena correlación entre los umbrales lácticos y ventilatorios (2, 22, 24, 33). A partir de VT_2 la concentración de lactato en plasma experimenta un incremento notable, reflejo del aumento de la producción de este metabolito (10, 34). La relación entre el ITA para la función VO_2/V_E y las variables asociadas con el VT_2 se explicaría por el hecho de que cuanto más elevado se encuentre este umbral mayor será el área.

Por otra parte, la posición de los umbrales ventilatorios en los ciclistas estudiados es similar a los resultados encontrados por otros estudios (14, 15, 17, 19, 35). El ITA para las diferentes funciones (VO_2/V_E , Carga/ VO_2 y Carga/ V_E) es mayor para los ciclistas respecto de los estudiantes. La mayor área en los ciclistas es explicada por el mayor incremento de la ventilación de estos: 63 versus 42 $L \cdot \text{min}^{-1}$ en el VT_1 y 88 versus 81 $L \cdot \text{min}^{-1}$ en el VT_2 . Este desplazamiento de la ventilación sería el resultado de una mayor eficiencia respiratoria, al desarrollar un mejor patrón respiratorio (36), como consecuencia de su grado de entrenamiento (37, 38).

Este estudio ha demostrado que el área a lo largo de tres momentos de la temporada cambia de forma significativa. Es relevante que el ITA calculado para la función Carga/ V_E mostrara diferencias significativas entre los momentos marzo y julio de la temporada, mientras el porcentaje del VT_2 con respecto al $VO_{2\text{max}}$ no cambió. Estas diferencias podrían justificarse por una mayor adaptación periférica que les permite desarrollar mayor carga de trabajo. Es discutida la relación entre la posición de los umbrales y el estado de entrenamiento (14, 16, 35, 39, 40). De acuerdo con otros autores (14, 19) el grado de adaptación del VT_2 a lo largo de tres temporadas no mostró diferencias significativas entre dos situaciones de elevado estado de entrenamiento (marzo versus junio), pero sí entre la pretemporada (diciembre) y los dos otros momentos. En los estudios realizados durante una temporada la posición del VT_1 (en % del $VO_{2\text{max}}$) osciló entre el 0,5 % y el 22 % (18, 19). Así, en ciclistas profesionales, el porcentaje de aumento entre diferentes periodos medidos fue inferior al 3 % (14), mientras que en ciclistas de menor nivel fue inferior al 4 % (19), coincidiendo con nuestros resultados. Por el contrario, Baumgartl encontró diferencias notables a lo largo de 8 temporadas de entrenamiento (20). En este trabajo, dependiendo del momento de medida a lo largo de la temporada las diferencias fueron del 0 al 15,5 % para los atletas de elite y del 1,3 al 30 % para los atletas aficionados. Las diferencias encontradas por estos autores pueden ser explicadas por las dificultades metodológicas para determinar la transición aeróbica-anaeróbica.

En resumen, la determinación del ITA es un método simple para evaluar la transición aeróbica-anaeróbica, dada la asociación estadísticamente significativa con el $VO_{2\text{max}}$ y las variables asociadas al VT_2 . El ITA se puede calcular fácilmente mediante la suma del triángulo y rectángulo definido entre VT_1 y VT_2 bajo la curva de las funciones VO_2/V_E , Carga/ VO_2 y Carga/ V_E . Por lo tanto, los entrenadores podrían utilizar fácilmente este nuevo enfoque. Este estudio es la primera investigación que propone y evalúa esta nueva metodología, por lo tanto, son necesarios más trabajos para confirmar su utilidad real. En el presente trabajo, el ITA fue mayor para los ciclistas, independientemente de la función utilizada. Para estos ciclistas, y con respecto a la función carga/ V_E y Carga/ VO_2 , el ITA cambió significativamente en los diferentes momentos de la temporada deportiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985 Feb;17(1):22-34.
2. Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985 Feb;17(1):6-21.
3. di Prampero PE. The anaerobic threshold concept: a critical evaluation. *Adv Cardiol.* 1986;35:24-34.
4. Walsh ML, Banister EW. Possible mechanisms of the anaerobic threshold. A review. *Sports Med.* 1988 May;5(5):269-302.
5. Wasserman K, Hansen JE, Sue D, Y., Whipp BJ, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation. 2^a ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1994.
6. Floria VG, Mareev V. [Anaerobic threshold: definition, physiology and methods of determination]. *Kardiologija.* 1993;33(5):40-6.
7. Hollmann W. Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med.* 1985 Jun;6(3):109-16.
8. Jones AM. A five year physiological case study of an Olympic runner. *Br J Sports Med.* 1998 Mar;32(1):39-43.
9. Maffulli N, Capasso G, Lancia A. Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *J Sports Med Phys Fitness.* 1991 Sep;31(3):332-8.
10. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med.* 2009;39(6):469-90.
11. Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport.* 1980 Mar;51(1):234-48.
12. Loat CE, Rhodes EC. Relationship between the lactate and ventilatory thresholds during prolonged exercise. *Sports Med.* 1993 Feb;15(2):104-15.
13. Bunc V, Heller J. Ventilatory threshold in young and adult female athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 1993 Sep;33(3):233-8.
14. Lucia A, Hoyos J, Pardo J, Chicharro JL. Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *Jpn J Physiol.* 2000 Jun;50(3):381-8.
15. Simon J, Young JL, Blood DK, Segal KR, Case RB, Gutin B. Plasma lactate and ventilation thresholds in trained and untrained cyclists. *J Appl Physiol.* 1986 Mar;60(3):777-81.
16. Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Hiraoka K, Kumagai S, Sun SO, et al. A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1984 Jun;16(3):278-82.
17. Withers RT, Sherman WM, Miller JM, Costill DL. Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1981;47(1):93-104.
18. Yuan Y, Chan KM. A longitudinal study on the ammonia threshold in junior cyclists. *Br J Sports Med.* 2004 Apr;38(2):115-9.
19. Zapico AG, Calderon FJ, Benito PJ, Gonzalez CB, Parisi A, Pigozzi F, et al. Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness.* 2007 Jun;47(2):191-6.

20. Baumgartl P. Treadmill ergometry and heart-volumes in elite biathletes: a longitudinal study. *Int J Sports Med.* 1990 Jun;11(3):223-7.
21. Rusko H. The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. *J Sports Sci.* 1987 Winter;5(3):273-86.
22. Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, Azus JL, Vandagriff R, Prietto CA, et al. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol.* 1982 Nov;53(5):1184-9.
23. 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 Oct;41(4):544-50.
24. Gaesser GA, Poole DC. Lactate and ventilatory thresholds: disparity in time course of adaptations to training. *J Appl Physiol.* 1986 Sep;61(3):999-1004.
25. World Medical Association. Declaration of Helsinki. World Medical Association; 2004 [updated 2004 17/05/08; cited 2005 01/05/01]; Available from: <http://www.wma.net/e/ethicsunit/helsinki.htm>.
26. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Nov;33(11):1841-8.
27. Lucia A, Rabadan M, Hoyos J, Hernandez-Capilla M, Perez M, San Juan AF, et al. Frequency of the VO₂max plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med.* 2006 Dec;27(12):984-92.
28. Basset FA, Boulay MR. Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Feb;81(3):214-21.
29. Hawley JA, Noakes TD. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(1):79-83.
30. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol.* 1986 Jun;60(6):2020-7.
31. Davis JA, Whipp BJ, Wasserman K. The relation of ventilation to metabolic rate during moderate exercise in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1980;44(2):97-108.
32. Maffulli N, Testa V, Lancia A, Capasso G, Lombardi S. Indices of sustained aerobic power in young middle distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 1991 Sep;23(9):1090-6.
33. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973 Aug;35(2):236-43.
34. Calderón FJ, Legido JC, Benito PJ, Peinado AB, Paz AI. Análisis físico-químico del estado ácido-base durante el ejercicio. *Archivos de medicina del deporte.* 2005;XXII(109):397-405.
35. Rowbottom DG, Keast D, Garcia-Webb P, Morton AR. Training adaptation and biological changes among well-trained male triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Sep;29(9):1233-9.
36. Lucia A, Carvajal A, Calderon FJ, Alfonso A, Chicharro JL. Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1999 May;79(6):512-21.

37. Bunc V, Heller J, Sprynarova S, Zdanowicz R. Comparison of the anaerobic threshold and mechanical efficiency of running in young and adult athletes. *Int J Sports Med.* 1986 Jun;7(3):156-60.
38. Iwaoka K, Hatta H, Atomi Y, Miyashita M. Lactate, respiratory compensation thresholds, and distance running performance in runners of both sexes. *Int J Sports Med.* 1988 Oct;9(5):306-9.
39. Davis JA, Frank MH, Whipp BJ, Wasserman K. Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol.* 1979 Jun;46(6):1039-46.
40. Meyer T, Lucia A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. *Int J Sports Med.* 2005 Feb;26 Suppl 1:S38-48.

Número de citas totales / Total references: 40 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 0