



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Determinación del área interumbrales ventilatorios en individuos de distintas capacidades de resistencia

Irma Lorenzo Capellá^a, Pedro J. Benito Peinado^b, María I. Barriopedro Moro^c,
Javier Butragueño Revenga^b, Nuno Koch Esteves^d, Francisco J. Calderón Montero^{b,*}

^a Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Camilo José Cela, Madrid, España

^b Departamento de Salud y Rendimiento Humano, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

^c Departamento de Ciencias Sociales de la Actividad Física, del Deporte y del Ocio, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

^d Department of Life Sciences, College of Health and Life Sciences, Centre for Sports Medicine and Human Performance, Brunel University of London, Londres, Reino Unido

Recibido el 14 de junio de 2017; aceptado el 6 de noviembre de 2017

PALABRAS CLAVE

Umbral anaeróbico;
Transición
aerobicoanaeróbica;
Umbrales ventilatorios;
Área interumbral

Resumen

Existe consenso general en que hay dos puntos de ruptura de la ventilación durante el ejercicio incremental, el umbral ventilatorio 1 (VT_1) y el umbral ventilatorio 2 (VT_2), que marcan los límites de la transición aerobicoanaeróbica. El área interumbral (ITA) ha sido definida como un parámetro que relaciona los umbrales ventilatorios. El objetivo principal de este estudio fue examinar el ITA, es decir, el área entre VT_1 y VT_2 de la función ventilación ÷ consumo de oxígeno (V_E/VO_2 en $l^2 \cdot \text{min}^{-2}$) en individuos con distintas capacidades de resistencia. Seiscientos seis varones de distintos niveles de resistencia realizaron una prueba de esfuerzo incremental y se les registraron sus umbrales ventilatorios. El ITA es un trapecio cuya área se calcula como la suma del área del triángulo y el rectángulo que lo forman entre VT_1 y VT_2 , por debajo de la función VO_2/V_E . La media de ITA para la función VO_2-V_E fue mayor en los ciclistas, como principales representantes de los deportistas de resistencia, frente al área correspondiente a los estudiantes de educación física con niveles de resistencia menores (120 ± 34 vs. 86 ± 40 $l^2 \cdot \text{min}^{-2}$). Estos resultados sugieren que la determinación de ITA puede reflejar el estado de la transición aerobicoanaeróbica durante las pruebas de esfuerzo incrementales.

© 2017 FC Barcelona. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: franciscojavier.calderon@upm.es (F.J. Calderón Montero).

KEYWORDS

Anaerobic threshold;
Aerobic-anaerobic
transition;
Ventilatory
thresholds;
Inter-threshold area

Determining the ventilatory inter-threshold area in individuals with different endurance capacities

Abstract

There is a general consensus in the literature regarding the existence of two ventilation break points during incremental exercise, i.e., Ventilatory Threshold 1 (VT_1) and Ventilatory Threshold 2 (VT_2), which mark the boundaries of the aerobic-anaerobic transition. The Inter-Threshold Area (ITA) has been defined as a parameter that connects the ventilatory thresholds. The main aim of the present study was to examine the ITA i.e., the expressed area between VT_1 and VT_2 for the function: ventilation ÷ oxygen uptake (VE/VO_2 in $L^2 \cdot \text{min}^{-2}$) in individuals with various endurance capacities. Six hundred and six men with different levels of endurance completed an incremental exercise test and their ventilatory thresholds were recorded. The ITA is a trapezoid whose area is calculated as the sum of the area of the triangle and rectangle that form it between VT_1 and VT_2 below the VO_2/V_E function. The mean ITA for the function VO_2-V_E was greater in cyclists, as the main representatives for endurance athletes, than the mean corresponding to physical education students, who averaged a lower endurance level (120 ± 34 vs. $86 \pm 40 L^2 \cdot \text{min}^{-2}$). The results suggest that the determination of the ITA can reflect metabolic status throughout the aerobic-anaerobic transition during maximal incremental exercise tests.

© 2017 FC Barcelona. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El término «umbral anaeróbico» fue acuñado inicialmente por Wasserman y McIlroy (1964) aplicando la tasa de intercambio respiratorio (RER, por sus siglas en inglés) para detectar el inicio del metabolismo anaeróbico en pacientes con problemas cardíacos cuando realizaban pruebas de esfuerzo¹. Posteriormente, Wasserman, Whipp, Koyl y Beaver (1973) definieron el umbral anaeróbico como: a) un incremento no lineal de la ventilación (V_E); b) un incremento no lineal de la eliminación de CO_2 (V_{CO_2}); c) un incremento de la presión parcial de O_2 durante una serie de respiraciones ($P_{et}O_2$), sin el descenso correspondiente en la presión parcial del CO_2 ($P_{et}CO_2$), y d) un incremento de RER, que se correlaciona positivamente con la carga de trabajo (todo durante una prueba de esfuerzo incremental). En cambio, Skinner y McLellan (1980) desarrollaron un modelo trifásico que utiliza variables de intercambio (respiratorio) de gases, que distingue los dos umbrales: el umbral ventilatorio 1 (VT_1) y el umbral ventilatorio 2 (VT_2). Lamentablemente, en la literatura VT_1 y VT_2 son conocidos por distintos nombres, lo cual ha generado mucha ambigüedad².

Se asume que VT_1 y VT_2 están influenciados por los cambios en la concentración de ácido láctico en la sangre³⁻⁵. En circunstancias ideales, los umbrales ventilatorios (VT), que marcan los límites de la transición aerobicoanaeróbica, deben estar lo más cerca posible del valor máximo del consumo de oxígeno (VO_{2max}). Ello es para que el cuerpo pueda experimentar condiciones en que el oxígeno se puede usar de manera eficiente durante el mayor tiempo posible. La acidosis empieza cuando se supera VT_1 , y en esta etapa la hiperventilación compensatoria facilita la continuidad del ejercicio a medida que se acumula el ácido láctico.

Distintos estudios han proporcionado datos descriptivos de VT_1 y VT_2 de diferentes grupos de atletas⁶⁻¹¹; sin embar-

go, parece que la literatura no contiene artículos referentes a la relación entre estos umbrales, ni sugiere que exista una relación ideal entre los VT. Como sugiere un artículo de revisión¹², VT_1 puede variar entre el 0,5 y el 22% con relación a VO_{2max} , mientras que la variación de VT_2 oscila entre el 2,5 y el 12,8%, y en referencia específica a esta revisión, estas variaciones se producen en una o más temporadas competitivas. Además, se estima que un parámetro conocido como área interumbral (ITA) conecta los VT¹³. El ITA se presenta como el área entre VT_1 y VT_2 para la función ventilación ÷ consumo de oxígeno (V_E/VO_2 en $L^2 \cdot \text{min}^{-2}$).

De acuerdo con este razonamiento, el objetivo general de este estudio fue revisar el ITA y describir los valores del umbral interventilatorio de una gran muestra de atletas varones especializados en distintos deportes. Los datos se recogieron mediante la realización de una prueba de esfuerzo incremental por parte de los sujetos hasta el agotamiento. Nuestra investigación siguió el protocolo verificado propuesto por Peinado et al. (2014). Nuestra hipótesis planteaba que los atletas que practican deportes en los que domina la resistencia, como el ciclismo y el atletismo (pista), muestran valores más altos de VT_1 y VT_2 , además de que ITA es una variable adecuada para indicar el estado metabólico durante una prueba de esfuerzo incremental máximo.

Material y métodos**Participantes**

Un total de 606 hombres realizaron una prueba de esfuerzo incremental máximo hasta el agotamiento en un cicloergómetro (Jaeger ER 800, Alemania) o en cinta de correr (H/P/COSMOS 3PW 4.0, H/P/Cosmos Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Alemania): 251 ciclistas, 104 triatletas, 53 nada-

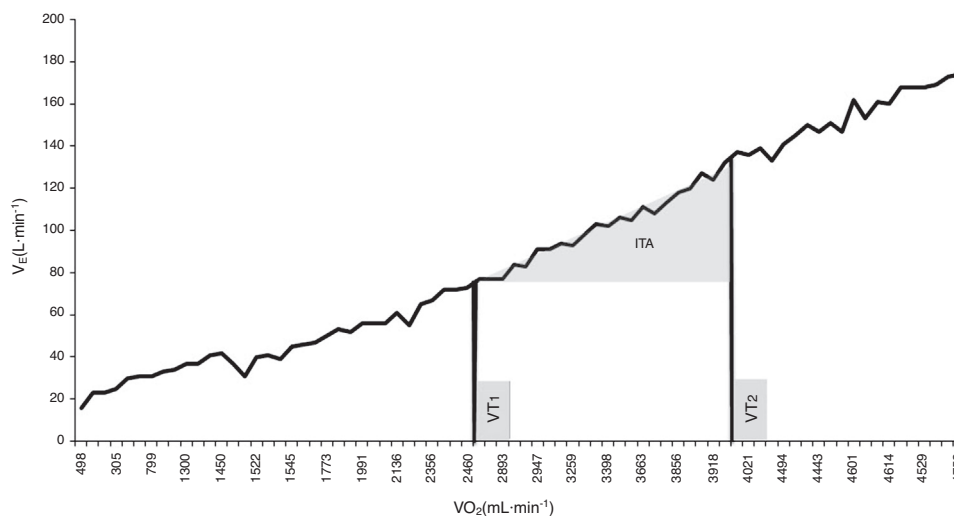


Figura 1. Procedimiento elemental para calcular el ITA de la función VO_2/V_E .

dores, 51 atletas de pista, 17 jugadores de baloncesto, 26 jugadores de fútbol, 12 gimnastas y 92 estudiantes de educación física (EF). Todas las pruebas se realizaron en condiciones atmosféricas similares (temperatura $22,8 \pm 0,6$ °C; humedad relativa $62,5 \pm 4,4\%$; presión atmosférica $703,54 \pm 7,41$ mmHg). Todos los sujetos fueron informados de la naturaleza del estudio y firmaron su consentimiento para participar en él, de acuerdo con la normativa establecida en la Declaración de Helsinki sobre la investigación con seres humanos¹⁴. Todos los procedimientos mencionados en esta investigación fueron aprobados por el comité de ética local.

Instrumentos y parámetros

Todos los participantes realizaron una prueba de esfuerzo incremental máximo para determinar su consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y los VT. Fueron estimulados verbalmente, para garantizar que lograran el esfuerzo máximo. Los datos de intercambio de gases fueron recogidos ininterrumpidamente a lo largo de cada prueba utilizando un sistema automático de respiración a respiración (Jaeger Oxycon Pro gas analyser, Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Alemania). La señal de volumen y los analizadores de gases se calibraron respectivamente con una jeringa de precisión conocida y con el volumen de mezcla de gases analizado. Los valores medios se calcularon para un período de 60 s. Un electrocardiograma de 12 derivaciones (ECG; Viasys Healthcare, Alemania) estuvo constantemente registrando las pruebas para determinar la frecuencia cardíaca (FC). Se requirieron al menos dos de los siguientes criterios para alcanzar el VO_{2max} : meseta de valores de VO_2 a pesar de aumentar la carga de trabajo, $RER \geq 1,1$ o la consecución del 95% de la frecuencia cardíaca teórica máxima $(FC_{max})^{7,15}$. Los VT se determinaron de acuerdo con los criterios propuestos por Davis (1985) y Siegler, Gaskill y Ruby (2003), mientras que el VO_{2max} obtenido se determinó según Lucia et al. (2006), y se establecieron de una manera específica para alcanzar el punto de máxima concordancia entre los diferentes métodos de valoración. Los resultados de todas las pruebas fueron evaluados por dos investigadores en un proceso de do-

ble ciego. El coeficiente de variación entre las valoraciones de estos dos investigadores y el de un experto altamente experimentado fue del 1,3%.

El cálculo del ITA, así como la corrección (CITA), se realizaron de acuerdo con el modelo elemental propuesto por Peinado et al. (2014): el área bajo la curva (ITA) para las funciones VO_2/V_E ($l^2 \cdot min^{-2}$), carga $\div VO_2$ ($W \cdot l \cdot min^{-2}$) y carga/ V_E ($W \cdot l \cdot min^{-2}$). Se calcula mediante la suma del área del triángulo y el rectángulo bajo la función $V_E/carga$ (fig. 1)¹³.

Análisis estadístico

Los datos fueron probados para determinar la normalidad, basada en la asimetría ($-2 < z < 2$) y la curtosis ($-2 < z < 2$) mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Para investigar la relación entre variables de rendimiento, VO_2 e ITA, se realizó el análisis de correlación bivariada de Pearson. Para comparar las diferencias entre los resultados de los grupos de sujetos se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes. Las magnitudes del efecto entre los diferentes métodos de expresión de los VT se calcularon con la d de Cohen, y se utilizaron las medias y desviaciones estándar agrupadas de las mediciones a partir de las condiciones. La d de Cohen fue corregida por la dependencia entre las medias usando la correlación entre las dos medias. Interpretación de la d de Cohen: una magnitud del efecto inferior a 0,33 se considera pequeña, de 0,33 a 0,55 se considera moderada y una magnitud del efecto de 0,56 a 1,2 se considera grande. Las comparaciones fueron pruebas bilaterales. Todos los datos se procesaron y analizaron con el paquete estadístico SPSS v15.0® (SPSS Worldwide Headquarters, Chicago, IL). El nivel de significación para todos los estudios se estableció en $p < 0,05$.

Resultados

La tabla 1 muestra las variables antropométricas y el VO_{2max} de la muestra, dividida en dos categorías: deportes con un alto componente de resistencia y deportes con un bajo

Tabla 1 Variables antropométricas y VO_{2max} de deportistas con alta y baja capacidad de resistencia

| | Deportistas de resistencia | | | | |
|------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|
| | Ciclismo | Triatlón | Natación | Atletismo | Total |
| Edad (años) | 22 ± 7 | 28 ± 6 | 15 ± 4 | 31 ± 11 | 19 ± 6 |
| Peso (kg) | 68 ± 7 | 70 ± 8 | 58 ± 16 | 71 ± 9 | 53 ± 8 |
| Altura (cm) | 175 ± 6 | 177 ± 7 | 167 ± 14 | 174 ± 6 | 139 ± 7 |
| VO_{2max} (ml/min) | 4.846 ± 624 | 4.558 ± 692 | 3.106 ± 908 | 4.280 ± 558 | 3.358 ± 556 |
| VO_2 rel (ml/min/kg) | 71,89 ± 8,84 | 65,37 ± 8,39 | 53,91 ± 7,54 | 61,21 ± 9,07 | 50,48 ± 6,27 |
| | Deportistas de no resistencia | | | | |
| | Estudiantes de educación física | Baloncesto | Fútbol | Gimnasia artística | Total |
| Edad (años) | 26 ± 8 | 17 ± 3 | 22 ± 4 | 18 ± 2 | 17 ± 3 |
| Peso (kg) | 75 ± 9 | 79 ± 12 | 71 ± 6 | 65 ± 6 | 58 ± 6 |
| Altura (cm) | 177 ± 5 | 187 ± 9 | 177 ± 5 | 168 ± 7 | 142 ± 5 |
| VO_{2max} (ml/min) | 3.983 ± 621 | 4.590 ± 674 | 4.016 ± 410 | 3.348 ± 471 | 3.187 ± 435 |
| VO_2 rel (ml/min/kg) | 53,42 ± 7,91 | 58,33 ± 5,56 | 56,5 ± 5,03 | 52,03 ± 6,59 | 44,06 ± 5,02 |

Tabla 2 Umbrales ventilatorios y área interumbrales interventilatorios en deportistas de alta y baja capacidad de resistencia

| | Ciclistas | Triatletas | Nadadores | Atletas | Total |
|---|---------------------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|
| VO_2 VT ₁ (ml/min) | 2.749 ± 535 | 2.672 ± 591 | 1.692 ± 474 | 2.793 ± 525 | 2.476 ± 531 |
| FC VT ₁ (latidos·min ⁻¹) | 144 ± 13 | 139 ± 15 | 139 ± 15 | 149 ± 13 | 143 ± 14 |
| VO_{2max} VT ₁ (%) | 56,6 ± 7,5 | 58,6 ± 9,3 | 55,4 ± 7,7 | 65 ± 8,6 | 59 ± 8,3 |
| VO_2 VT ₂ (ml/min) | 4.116 ± 622 | 3.914 ± 616 | 2.564 ± 735 | 3.808 ± 526 | 3.600 ± 625 |
| FC VT ₂ (latidos·min ⁻¹) | 177 ± 11 | 170 ± 12 | 175 ± 12 | 176 ± 10 | 174 ± 11 |
| VO_{2max} VT ₂ (%) | 84,9 ± 6,0 | 86,0 ± 6,4 | 83,1 ± 7,2 | 89,1 ± 6,4 | 85,8 ± 6,5 |
| ITA (l ² ·min ²) | 35,75 ± 17,11 | 31,10 ± 15,86 | 16,11 ± 12,67 | 23,07 ± 12,30 | 26,51 ± 14,48 |
| | Estudiantes de educación física | Baloncesto | Fútbol | Gimnasia artística | Total |
| VO_2 VT ₁ (ml/min) | 2.188 ± 530 | 2.967 ± 671 | 2.254 ± 514 | 1.737 ± 427 | 2.287 ± 536 |
| FC VT ₁ (latidos·min ⁻¹) | 137 ± 17 | 147 ± 18 | 141 ± 18 | 129 ± 9 | 138 ± 16 |
| VT ₁ VO_{2max} (%) | 54,9 ± 10,3 | 64 ± 10,2 | 55,8 ± 9,1 | 51,7 ± 8,0 | 56,8 ± 9,4 |
| VO_2 VT ₂ (ml/min) | 3.327 ± 583 | 4.117 ± 654 | 3.416 ± 409 | 2.686 ± 517 | 3.386 ± 541 |
| FC VT ₂ (latidos·min ⁻¹) | 171 ± 12 | 176 ± 15 | 174 ± 12 | 165 ± 12 | 171 ± 13 |
| VT ₂ VO_{2max} (%) | 83,6 ± 6,8 | 89,8 ± 6,4 | 85,1 ± 6,0 | 79,9 ± 6,0 | 84,6 ± 6,3 |
| ITA (l ² ·min ²) | 25,39 ± 14,64 | 30,23 ± 13,70 | 26,91 ± 11,85 | 17,47 ± 10,65 | 25,00 ± 12,71 |

FC: frecuencia cardíaca; VO_2 : consumo de oxígeno.

Los subíndices máximos VT₁ y VT₂ indican primer umbral ventilatorio y segundo umbral ventilatorio, respectivamente.

ITA: área interumbrales; p.ej., área definida entre VT₁ y VT₂ para la función ventilación/consumo de oxígeno.

componente de resistencia. En los deportes de resistencia los valores de VO_{2max} son relativamente más elevados en los ciclistas (71,89 ± 8,84 ml/min/kg) comparados con los de los triatletas (65,37 ± 8,39 ml/min/kg), nadadores (53,91 ± 7,54 ml/min/kg) y atletas de pista (61,21 ± 9,07 ml/min/kg). En los deportes con un bajo componente de resistencia los jugadores de baloncesto presentaron valores más elevados de VO_{2max} (58,33 ± 5,56 ml/min/kg) que los que obtuvieron los jugadores de fútbol (56,5 ± 5,03 ml/min/kg). Los estudiantes de EF y los gimnastas indicaron valores más bajos de VO_{2max} .

La tabla 2 muestra los valores obtenidos de los VT e ITA para los dos grupos, según el componente de resistencia. En orden descendente, los valores reportados de VT₁ son como

siguen: atletas de pista (65,0 ± 8,6%), triatletas (58,6 ± 9,3%), ciclistas (56,0 ± 7,5%) y nadadores (55,4 ± 7,7%). Los ciclistas mostraron los valores más elevados ITA (35,75 ± 17,11 l²·min²) en comparación con los triatletas (31,10 ± 15,86 l²·min²), atletas de pista (23,07 ± 12,30 l²·min²) y nadadores (16,11 ± 12,67 l²·min²). Atletismo (pista) (65,0 ± 8,6%) y baloncesto (64,6 ± 10,2%) mostraron un umbral aeróbico más elevado (%) en comparación con los otros deportes. Referente a los distintos deportes y porcentajes de umbral anaeróbico, se describen varias diferencias. Además, los jugadores de baloncesto y los atletas de pista presentaron un porcentaje más elevado de valores ITA respecto a los otros deportes (30,23 ± 13,70 l²·min², 23,07 ± 11,06 l²·min²) (tabla 2).

Tabla 3 Correlaciones de distintos parámetros

| | | VO ₂ VT ₁ (ml/min) | VO ₂ VT ₂ (ml/min) | VO _{2max} VT ₁ (%) | VO _{2max} VT ₂ (%) | ITA (l ² ·min ²) |
|--|------------------------|--|--|--|--|---|
| VO ₂ VT ₁ (ml/min) | Correlación de Pearson | 1 | 0,874** | 0,646** | 0,386** | 0,176** |
| | Sig. (bilateral) | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | N | 606 | 606 | 606 | 606 | 606 |
| VO ₂ VT ₂ (ml/min) | Correlación de Pearson | 0,874** | 1 | 0,277** | 0,392** | 0,601** |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | N | 606 | 606 | 606 | 606 | 606 |
| VO _{2max} VT ₁ (%) | Correlación de Pearson | 0,646** | 0,277** | 1 | 0,606** | -0,363** |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | | 0,000 | 0,000 |
| | N | 606 | 606 | 606 | 606 | 606 |
| VO _{2max} VT ₂ (%) | Correlación de Pearson | 0,386** | 0,392** | 0,606** | 1 | 0,278** |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | 0,000 |
| | N | 606 | 606 | 606 | 606 | 606 |
| ITA (l ² ·min ²) | Correlación de Pearson | 0,176** | 0,601** | -0,363** | 0,278** | 1 |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| | N | 606 | 606 | 606 | 606 | 606 |
| CITA (l ² ·min ²) | Correlación de Pearson | 0,273** | 0,660** | -0,224** | 0,404** | 0,985** |
| | Sig. (bilateral) | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| | N | 606 | 606 | 606 | 606 | 606 |

CITA: área correcta interumbral; ITA: área interumbral.

** La correlación es significativa a nivel 0,01 (bilateral).

Los valores del área del umbral interventilatorio fueron significativamente más elevados en sujetos con una capacidad de resistencia elevada, para ambos valores absolutos ($t_{300} = 3,88$, $p < 0,001$, $d = 0,37$) y para el corregido ($T_{298} = 4,31$, $p < 0,001$, $d = 0,41$). Ambos VT₂ y VT₁ (en porcentajes respecto al VO_{2max}) fueron significativamente superiores en sujetos con alta resistencia ($t_{604} = 1,85$, $p = 0,033$, $d = 0,18$) en comparación con los de resistencia baja ($t_{213} = 2,06$, $p = 0,022$, $d = 0,20$). Los valores absolutos de VT₂ y VT₁, también, fueron significativamente más elevados en sujetos de alta resistencia en comparación con los de baja resistencia ($T_{198} = 7,37$, $p < 0,001$, $d = 0,70$ y $T_{604} = 6,07$, $p < 0,001$, $d = 0,58$).

A pesar de ser significativo ($p < 0,001$), el estudio de análisis correlacional (tabla 3) indica un ITA muy bajo, en relación con los valores de VT₁ i VT₂ expresados en valores absolutos (ml/min) o relativos (%). Solo la correlación entre ITA i VT₂ (ml/min) se puede considerar como sólida y apropiada ($r = 0,601$). Se hallaron efectos moderados en el área del umbral interventilatorio ($d = 0,41$) y valores muy bajos en los VT ($d = 0,20$), expresados en porcentajes respecto al VO_{2max}. El valor d de Cohen fue más elevado en los VT en valores absolutos (ml/min VO₂) ($d = 0,58$).

Discusión

El objetivo de este estudio fue examinar el ITA y describir los valores del umbral interventilatorio en una gran muestra de deportistas varones especializados en distintos deportes. Proponemos que la transición aerobicoanaeróbica debe ser examinada mediante el cálculo del ITA, entre VT₁ y VT₂. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que proporciona evidencia de una relación entre los VT en una gran muestra de individuos sanos con distintos niveles de condi-

ción física, que se refiere específicamente a la capacidad de resistencia.

Área del umbral interventilatorio

En teoría, los VT, que marcan los límites de la transición aerobicoanaeróbica deben estar lo más cerca posible de VO_{2max}, de tal manera que el cuerpo pueda experimentar condiciones en que el oxígeno pueda ser utilizado de forma eficiente durante el mayor tiempo posible. Durante la acidosis, que se inicia cuando se supera VT₁, la hiperventilación compensatoria facilita la continuación del ejercicio a medida que se acumula el ácido láctico. Por lo tanto, es plausible argumentar que una ITA más alta es el resultado de una mayor capacidad para realizar pruebas de resistencia e ilustra que el sujeto es capaz de compensar el aumento del ácido láctico. En consecuencia, existe una fuerte correlación entre lactato y VT^{3-5,16}. Una vez es superado el VT₂, la concentración plasmática del ácido láctico aumenta notablemente. Este es el resultado del aumento de la producción de ácido láctico y de una tasa reducida de depuración. Como resultado, nuestra investigación demuestra que los valores ITA más altos se encuentran en los ciclistas y triatletas, deportes cuya capacidad de resistencia es vital para un rendimiento de alto nivel. Sin embargo, no se puede explicar simplemente el alto valor del ITA en los jugadores de baloncesto, puesto que el baloncesto no se considera como prevalente en resistencia¹⁷.

Se obtuvieron los valores más elevados de ITA en el ciclismo, seguido del triatlón y del baloncesto. El atletismo (pista) y el baloncesto reportaron los valores máximos del umbral aeróbico (%) en relación con VO_{2max}, por encima de otros deportes (fig. 2). Se da una diferencia significativa entre los resultados del umbral anaeróbico (%) y el consumo máximo de oxígeno entre deportes.

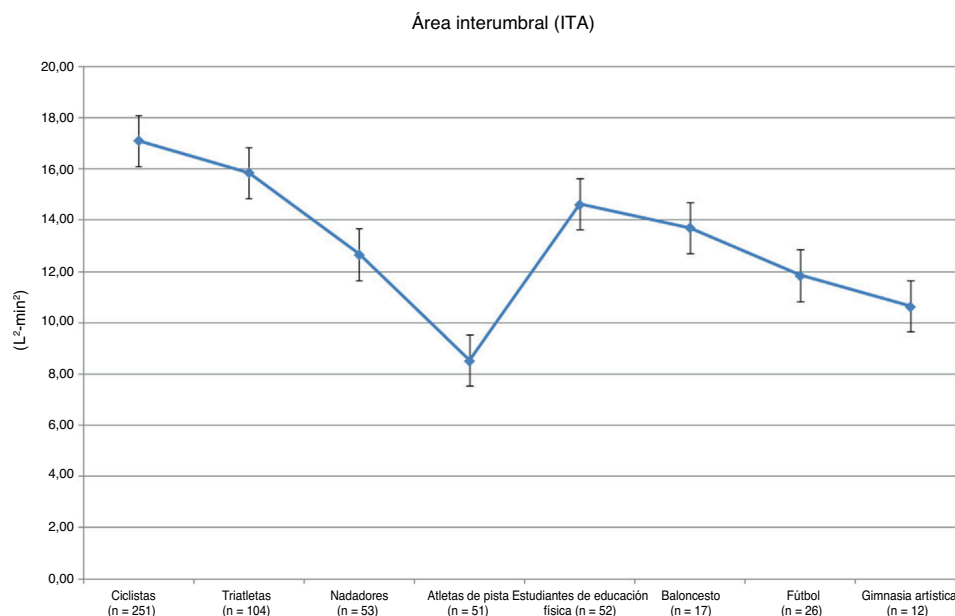


Figura 2. Valores medios del área del umbral interventilatorio de distintos deportes.

Los umbrales ventilatorios (% respecto a VO_{2max})

Los valores medios del umbral aeróbico de los ciclistas, expresados en porcentajes, fueron $56,6 \pm 7,5\%$. Nuestros resultados son similares a los reportados por Zapico et al. (2007): noviembre-diciembre ($50 \pm 2,4\%$), enero-febrero ($61 \pm 2,1\%$) y mayo-junio ($56 \pm 2\%$). Sin embargo, están muy por debajo de los valores de Pardo (2001): noviembre-diciembre ($76,1 \pm 1,3\%$), enero-febrero ($72 \pm 1,5\%$) y mayo-junio ($73,1 \pm 1,3\%$), que analizó la evolución de la transición aerobicoanaeróbica durante toda una temporada de competición. Nuestros resultados también difieren de los hallados por Withers et al. (1981) ($66,3\%$), y Simon et al. (1986) ($65,8\%$). Las diferencias pueden ser debidas a las variantes terminológicas y de metodología usadas para determinar la transición aerobicoanaeróbica². Las relaciones entre ITA para la función VO_2/V_E y VT_2 (asociadas a las variables ergoespirométricas presentes) se explican por el hecho que un VT_2 más alto da como resultado una ITA mayor. Las posiciones de VT_1 y VT_2 de los ciclistas en el presente estudio son similares a las descritas en otros estudios^{9,11,18-20}. En general, el ITA de los ciclistas fue superior en comparación con los otros deportes con características de menor resistencia.

En nuestra investigación, los valores medios de los umbrales aeróbico y anaeróbico de los triatletas, expresados en porcentajes, fueron $58,6 \pm 9,3\%$ y $86,0 \pm 6,4\%$, respectivamente. Galy et al. (2003) investigaron la evolución de los parámetros fisiológicos sobre los parámetros estacionales y hallaron un porcentaje del umbral aeróbico que oscila entre el $73,8 \pm 0,2\%$ y el $75,6 \pm 0,2\%$, y para el umbral anaeróbico entre el $79 \pm 0,2\%$ y el $88,9 \pm 0,2\%$. Es plausible suponer que las diferencias en los valores de los umbrales aeróbicos reportados, entre las investigaciones, son el resultado del método utilizado para determinar la transición aerobicoanaeróbica. Descubrimos que el método utilizado era el mismo que el nuestro²¹. Otros estudios²²⁻²⁵ reportaron importantes variaciones en los VT (que van del 61 al 81%). Además, las diferencias y la variabilidad se pueden explicar por la nomenclatura

utilizada en términos de transición aerobicoanaeróbica², por los métodos para determinar los umbrales²¹ y por el tipo de ejercicio²⁶.

En natación, fútbol, gimnasia, atletismo (pista) y EF, los porcentajes del umbral aeróbico, respecto a VO_{2max} , fueron muy similares (oscilaban entre el 51,7 y el 55,8%), pero inferiores a los de los deportes específicos de resistencia. Por tanto, los valores más altos obtenidos para este parámetro en la transición aerobicoanaeróbica son para el atletismo (pista) ($65,0 \pm 8,6\%$) y el baloncesto ($64,6 \pm 10,2\%$). El porcentaje medio del umbral anaeróbico es muy similar en todos los deportes (oscila entre el 80 y el 89%). Nuestros resultados concuerdan con los reportados por Bunc et al. (1987), que investigaron un total de 223 atletas de pista muy bien entrenados. En concreto, el porcentaje de umbrales anaeróbicos varía entre el 80,5 y el 86,6%. Los atletas de pista y los jugadores de baloncesto presentan los valores porcentuales de umbrales aeróbicos más elevados respecto al VO_{2max} , por encima de todos los demás deportes. Entre deportes, existe una diferencia significativa en los porcentajes reportados de los umbrales anaeróbicos del consumo máximo de oxígeno.

Expresión de los umbrales ventilatorios

En este estudio valoramos el grado de asociación entre los VT en las dos categorías de atletas de pista estudiados. Creemos que la forma en que se expresan los VT puede generar resultados significativamente diferentes. El cálculo de ITA tiene como objetivo ayudar y explicar los elevados valores que se encuentran normalmente en la resistencia de los atletas de pista. Se podría esperar que los atletas de pista con un componente mayor de resistencia (tanto en el entrenamiento como en la competición) presentaran valores relativos significativamente altos. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre los grupos con un componente de resistencia alto y bajo para ambos VT_1 ($59 \pm 8,3\%$ versus $56,8 \pm 9,4\%$) y VT_2 ($85,5 \pm 6,5\%$ versus $84,6 \pm 6,3\%$).

En este estudio, los individuos con una baja capacidad de resistencia presentaron un valor medio de VT_1 de $55,94 \pm 10,3$ y un valor VT_2 de $84,26 \pm 6,9$, respectivamente, mientras que los individuos con una alta capacidad de resistencia tuvieron valores de $57,88 \pm 8,5$ y $85,4 \pm 6,4$, respectivamente. Cuando se calculó la magnitud del efecto, el deportista medio con una capacidad de resistencia alta superaría aproximadamente el 58% ($d = 0,20$; 57,8%) de la muestra de deportistas con una capacidad de resistencia baja. Por tanto, no es conveniente expresar los VT como porcentaje de VO_{2max} . Sin embargo, la magnitud del efecto para el área del umbral interventilatorio y los VT expresados en valores absolutos (ml/min) son formas apropiadas de expresar la transición aerobicoanaeróbica.

La magnitud del efecto de los valores absolutos de VT_1 y VT_2 de deportistas de baja resistencia, $2.253 \pm 606,26$ (VT_1) y $3.381,76 \pm 641,87$ (VT_2), significa que aproximadamente el 71% podrían tener valores más altos que la población correspondiente de deportistas de baja resistencia ($2.614,50 \pm 635,09$ y $3.856,91 \pm 787,02$ para VT_1 y VT_2 , respectivamente) ($d = 0,50$, 69,1%). La magnitud del efecto del área del umbral interventilatorio es menor ($d = 0,40$; 65,5%) que VT_1 y VT_2 en valores absolutos. Creemos que es conveniente expresar los VT primero como valores absolutos y segundo como valores en términos del área del umbral interventilatorio, pero nunca como porcentajes de VO_{2max} .

Cuando la magnitud obtenida del efecto se estima por encima del 58% ($d = 0,20$; 57,8%) de la población de deportistas con una capacidad de resistencia baja, los valores de VT_1 y VT_2 diferirán de la muestra media de deportistas de alta resistencia. Por tanto, no es conveniente expresar los VT como porcentajes de VO_{2max} . Sin embargo, la magnitud del efecto de ITA y los VT expresados en valores absolutos (ml/min) son formas apropiadas de expresar la transición aerobicoanaeróbica. Aproximadamente el 66% de la población con baja resistencia sería mayor que el área correspondiente de alta resistencia ($d = 0,40$; 65,5%), mientras que casi el 71% del umbral ventilatorio (ml/min) sería mayor en atletas de resistencia en pista. Por tanto, parece adecuado expresar los VT primero como valores absolutos y en segundo lugar como valores en términos del área del umbral interventilatorio.

Conclusión

El ITA es un método sencillo para valorar la relación entre los VT. El ITA permite distinguir entre deportistas con distintas capacidades de resistencia. Además, resulta inadecuado para expresar los umbrales anaeróbicos como porcentajes respecto a VO_{2max} , puesto que se hace de modo rutinario. Es más apropiado describir los umbrales como valores absolutos del consumo de oxígeno. Referente a la expresión de los VT, los resultados de este estudio indican que el ITA no presenta información superior en comparación con los valores absolutos de VT_1 y VT_2 .

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol.* 1964;14:844-52.
2. Legido J, Chicharro J. Umbral anaerobio. Bases fisiológicas y aplicación. Madrid: Interamericana McGraw Hill; 1991.
3. Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, Azus JL, Vandagriff R, Prieto C, et al. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol.* 1982;53:1184-9.
4. 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.
5. Gaesser GA, Poole DC. Lactate and ventilatory thresholds: Disparity in time course of adaptations to training. *J Appl Physiol.* 1986;61:999-1004.
6. Bunc V, Heller J, Leso J, Sprynarova S, Zdanowicz R. Ventilatory threshold in various groups of highly trained athletes. *Int J Sports Med.* 1987;8:275-80.
7. Lucía A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiology of professional road cycling. *Sports Med.* 2001;31:325-37.
8. Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Hirakoba K, Kumagai S, Sun S, et al. A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16:278-82.
9. 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;47:93-104.
10. Yuan Y, Chan K. A longitudinal study on the ammonia threshold in junior cyclists. *Br J Sports Med.* 2004;38:115-9.
11. 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;47:191-6.
12. Peinado PJB, Peinado A, Molina VD, Capellá IL, Calderón F. Evolución de los parámetros ergoespirométricos con el entrenamiento en deportistas. *Arch Med Deport.* 2007;46:4-75.
13. Peinado A, Benito PJ, Lorenzo I, Maffulli N, Brito-Ojeda E, Ruiz-Caballero I, et al. Calculation of the interventilatory threshold area: A method for examining the aerobic-anaerobic transition. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deport.* 2014;14:105-17.
14. World Medical Association. Declaration of Helsinki; 2004 [consultado 17 May 2008]. Disponible en: <http://www.wma.net/e/ethicsunit/helsinki.htm>
15. Lucía A, Rabadán M, Hoyos J, Hernández-Capilla M, Pérez M, San Juan A, et al. Frequency of the VO_{2max} plateau phenomenon in world-class cyclists. *Int J Sports Med.* 2006;27:984-92.
16. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973;35:236-43.
17. Terrados N, Calleja J. Fisiología, entrenamiento y medicina del baloncesto. Barcelona: Paidotribo; 2008.
18. López J, Legido J, Terrados N. Umbral anaeróbico, bases fisiológicas y aplicación. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España; 1991.
19. Rowbottom DG, Keast D, Garcia-Webb P, Morton AR. Training adaptation and biological changes among well-trained male triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:1233-9.
20. Simon J, Young JL, Blood DK, Segal KR, Case RB, Gutin B, et al. Plasma lactate and ventilation thresholds in trained and untrained cyclists. *J Appl Physiol.* 1986;60:777-81.
21. 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;33:1841-8.
22. Hue O, Gallais DL, Chollet D, Préfaut C. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can J Appl Physiol.* 2000;25:102-13.
23. O'Toole ML, Douglas PS. Applied physiology of triathlon. *Sports Med.* 1995;19:251-67.
24. Schneider D, Lacroix K, Atkinson G, Troped P, Pollack J. Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:257-64.
25. Sleivert GG, Wenger HA. Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:871-6.
26. Kohrt WM, Morgan DW, Bates B, Skinner JS. Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:51-5.