



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



TREBALL ORIGINAL

Determinació de l'àrea interllindars ventilatoris en individus de diferents capacitats de resistència

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 Ciències de la Activitat Física y del Deporte, Universidad Camilo José Cela, Madrid, Espanya

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

^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, Espanya

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

Rebut el 14 de juny de 2017; acceptat el 6 de novembre de 2017

PARAULES CLAU

Llindar anaeròbic;
Transició
aerobicoanaeròbica;
Llindars ventilatoris;
Àrea interllindar

Resum

Hi ha consens general que hi ha dos punts de ruptura de la ventilació durant l'exercici incremental, el llindar ventilatori 1 (VT_1) i el llindar ventilatori 2 (VT_2), que marquen els límits de la transició aerobicoanaeròbica. L'àrea interllindar (ITA) ha estat definida com un paràmetre que relaciona els llindars ventilatoris. L'objectiu principal d'aquest estudi fou examinar l'ITA, és a dir, l'àrea entre VT_1 i VT_2 de la funció ventilació ÷ consum d'oxigen (V_E/VO_2 en $l^2 \cdot \text{min}^{-2}$) d'individus amb diferents capacitats de resistència. Siscentss homes de diferents nivells de resistència van realitzar una prova d'esforç incremental i se'ls registraren els llindars ventilatoris. L'ITA és un trapecí l'àrea del qual es calcula com la suma de l'àrea del triangle i el rectangle que el formen, entre VT_1 i VT_2 , per sota de la funció VO_2/V_E . La mitjana d'ITA de la funció VO_2-V_E fou major en els ciclistes, com a representants principals dels esportistes de resistència, enfront de l'àrea corresponent als estudiants d'educació física amb nivells de resistència menors (120 ± 34 versus 86 ± 40 $l^2 \cdot \text{min}^{-2}$). Aquests resultats suggereixen que la determinació de l'ITA pot reflectir l'estat de la transició aerobicoanaeròbica durant les proves d'esforç incrementals.

© 2017 FC Barcelona. Publicat per Elsevier España, S.L.U. Tots els drets reservats.

* Autor per a la correspondència.

Correu electrònic: 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.

Introducció

El terme «llindar anaeròbic» fou encunyat inicialment per Wasserman i McLlroy (1964) aplicant la taxa d'intercanvi respiratori (RER, per les sigles en anglès) per detectar l'inici del metabolisme anaeròbic en pacients amb problemes cardíacs en realitzar proves d'esforç¹. Posteriorment, Wasserman, Whipp, Koyl i Beaver (1973) definiren el llindar anaeròbic com: a) un augment no lineal de la ventilació (V_E); b) un increment no lineal de l'eliminació de CO_2 (VCO_2); c) un augment de la pressió parcial d' O_2 durant una sèrie de respiracions ($PetO_2$), sense caiguda corresponent en la pressió parcial del CO_2 ($PetCO_2$), i d) un augment de RER, que es correlaciona positivament amb la càrrega de treball (tot durant una prova d'esforç incremental). En canvi, Skinner i McLellan (1980) desenvoluparen el model trifàsic que utilitza variables d'intercanvi de gasos (respiratori), distingint així els dos llindars: el llindar ventilatori 1 (VT_1) i el llindar ventilatori 2 (VT_2). Malauradament, a la literatura, VT_1 i VT_2 són coneguts per noms diferents, cosa que ha generat molta ambigüitat².

S'assumeix que VT_1 i VT_2 estan influenciats pels canvis en la concentració d'àcid làctic en la sang³⁻⁵. Preferiblement, els llindars ventilatoris (VT), que marquen els límits de la transició aerobicoanaeròbica, han de ser el més a prop possible del valor màxim de consum d'oxigen (VO_{2max}). Això és així perquè el cos pugui experimentar condicions en què l'oxigen es pugui utilitzar de manera eficient durant el major temps possible. L'acidosis comença quan se supera VT_1 , i en aquesta etapa la hiperventilació compensatòria facilita la continuïtat de l'exercici a mesura que s'acumula l'àcid làctic.

Diversos estudis han proporcionat dades descriptives de VT_1 i VT_2 de diferents grups d'atletes⁶⁻¹¹; tanmateix, sembla que la literatura no conté articles referents a la relació en-

tre aquests llindars, ni suggereix que hi hagi una relació ideal entre els VT. Com se suggereix en un article de revisió¹², VT_1 pot variar entre un 0,5 i un 22% en relació amb VO_{2max} , mentre que la variació de VT_2 oscil·la entre el 2,5 i el 12,8%, i amb referència específica a aquesta revisió, aquestes variacions es produeixen en una o més temporades de competició. A més, s'estima que un paràmetre conegut com a àrea interllindar (ITA) connecta els VT¹³. L'ITA s'expressa com l'àrea entre VT_1 i VT_2 per a la funció: ventilació ÷ consum d'oxigen (V_E/VO_2 en $l^2 \cdot \text{min}^{-2}$).

D'acord amb aquest criteri, l'objectiu general d'aquest estudi fou examinar l'ITA, i informar sobre els valors del llindar interventilatori en una gran mostra d'atletes masculins especialitzats en diferents esports. Les dades es recolliren mitjançant la realització d'un test d'esforç incremental per part dels subjectes fins a l'esgotament. La nostra recerca seguí el protocol verificat, proposat per Peinado et al. (2014). Platejarem la hipòtesi que els atletes que practiquen esports en què domina la resistència, com ara ciclisme i atletisme (pista), mostren valors més alts de VT_1 i VT_2 ; i a més que ITA és una variable adequada per indicar l'estatus metabòlic durant una prova d'esforç incremental màxim.

Material i mètodes**Participants**

Un total de 606 homes realitzaren un test d'esforç incremental màxim fins a l'esgotament en un cicloergòmetre (Jaeger ER 800, Alemanya) o en cinta de córrer (H/P/COSMOS 3PW 4.0, H/P/Cosmos Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Alemanya): 251 ciclistes, 104 triatletes, 53 nedadors, 51 atletes de pista, 17 basquetbolistes, 26 jugadors de futbol, 12 gimnastes i 92 estudiants d'educació física (EF). Totes les proves

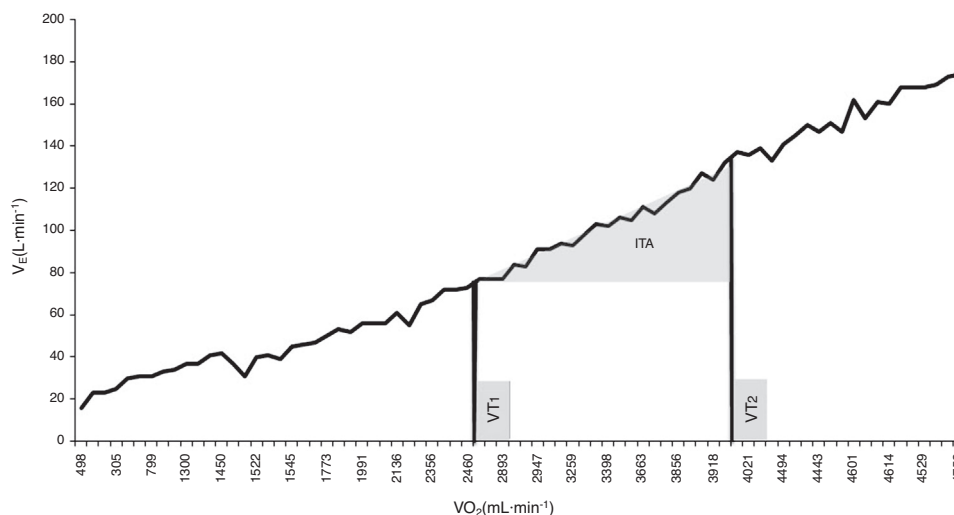


Figura 1. Procediment elemental per calcular l'ITA de la funció VO_2 / V_E .

es realitzaren en condicions atmosfèriques similars (temperatura $22,8 \pm 0,6$ °C; humitat relativa $62,5 \pm 4,4\%$; pressió atmosfèrica $703,54 \pm 7,41$ mmHg). Tots els subjectes foren informats de la naturalesa de l'estudi i van signar el consentiment per a participar-hi, d'acord amb la normativa establerta a la Declaració d'Hèlsinki sobre la investigació amb éssers humans¹⁴. Tots els procediments esmentats en aquesta recerca foren aprovats pel comitè d'ètica local.

Instruments i paràmetres

Tots els participants van realitzar una prova d'esforç incremental màxim per determinar el consum màxim d'oxigen (VO_{2max}) i els VT. Se'ls va estimular verbalment per garantir que assolissin l'esforç màxim. Les dades d'intercanvi de gasos es recolliren ininterrompudament durant cada prova utilitzant un sistema automàtic de respiració a respiració (Jaeger Oxycon Pro gas analyser, Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Alemanya). El senyal de volum i els analitzadors de gasos es calibraren, respectivament, amb una xeringa de precisió coneguda i pel volum de mescla de gas analitzat. Els valors mitjans es calcularen per un període de 60 s. Per determinar la freqüència cardíaca (HR), un electrocardiograma de 12 derivacions (ECG; Viasys Healthcare, Alemanya) estigué constantment enregistrant les proves. Calien almenys dos dels criteris següents per assolir el VO_{2max} : replà en valors de VO_2 tot i augmentar la càrrega de treball, $RER \geq 1,1$, o la consecució del 95% de la freqüència cardíaca teòrica màxima (FC_{max})^{7,15}. Els VT es van determinar d'acord amb els criteris proposats per Davis (1985) i Siegler, Gaskill i Ruby (2003), mentre que el VO_{2max} obtingut es va determinar segons Lucia et al. (2006), i s'establiren d'una manera específica per assolir el punt de màxima concordança entre els diferents mètodes d'avaluació. Els resultats de totes les proves van ser valorats per dos investigadors en un procés de doble cec. El coeficient de variació entre les valoracions d'aquests dos investigadors i el d'un expert altament experimentat fou de l'1,3%.

El càlcul ITA i la correcció (CITA) es realitzà d'acord amb el model elemental proposat per Peinado et al. (2014):

l'àrea sota la corba (ITA) per a les funcions VO_2/V_E ($l^2 \cdot \text{min}^{-2}$), càrrega/ VO_2 ($W \cdot l \cdot \text{min}^{-2}$) i càrrega/ V_E ($W \cdot l \cdot \text{min}^{-2}$). Es calcula mitjançant la suma de l'àrea del triangle i el rectangle sota de la funció $V_E/\text{càrrega}$ (fig. 1)¹³.

Anàlisi estadística

Les dades foren provades per determinar la normalitat, basada en l'asimetria ($-2 < z < 2$) i la curtosi ($-2 < z < 2$) mitjançant el test de Kolmogorov-Smirnov. Per examinar la relació entre variables de rendiment, VO_2 i ITA, es realitzà l'anàlisi de correlació bivariada de Pearson. Per comparar les diferències entre els resultats dels dos grups de subjectes s'emprà la prova t d'Student per a mostres independents. Les magnituds de l'efecte entre els diferents mètodes d'expressió dels VT es calcularen amb la d de Cohen; i s'empraren les mitjanes i desviacions estàndard agrupades dels mesuraments a partir de les condicions. La d de Cohen es corregí per la dependència entre mitjanes amb l'ús de la correlació entre les dues mitjanes. Interpretació de la d de Cohen: una grandària de l'efecte inferior a 0,33 es considera petita, de 0,33 a 0,55 es considera moderada i la grandària de l'efecte de 0,56-1,2 es considera gran. Les comparacions foren proves bilaterals. Totes les dades foren processades i analitzades amb el paquet estadístic SPSS v15.0® (SPSS Worldwide Headquarters, Chicago, IL). El nivell de significació per a tots els estudis s'establí en $p < 0,05$.

Resultats

La taula 1 mostra les variables antropomètriques i el VO_{2max} de la mostra, dividida en dues categories: esports amb un alt component de resistència i esports amb un baix component de resistència. En els esports de resistència, els valors de VO_{2max} són relativament més elevats en els ciclistes ($71,89 \pm 8,84$ ml/min/kg) comparats amb els dels triatletes ($65,37 \pm 8,39$ ml/min/kg), nedadors ($53,91 \pm 7,54$ ml/min/kg) i atletes de pista ($61,21 \pm 9,07$ ml/min/kg). En es-

Taula 1 Variables antropomètriques i VO_{2max} d'esportistes amb alta i baixa capacitat de resistència

| | Esportistes de resistència | | | | |
|------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| | Ciclisme | Triatló | Natació | Atletisme | Total |
| Edat (anys) | 22 ± 7 | 28 ± 6 | 15 ± 4 | 31 ± 11 | 19 ± 6 |
| Pes (kg) | 68 ± 7 | 70 ± 8 | 58 ± 16 | 71 ± 9 | 53 ± 8 |
| Alçada (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 |
| | Esportistes de no resistència | | | | |
| | Estudiants d'educació física | Bàsquet | Futbol | Gimnàstica artística | Total |
| Edat (anys) | 26 ± 8 | 17 ± 3 | 22 ± 4 | 18 ± 2 | 17 ± 3 |
| Pes (kg) | 75 ± 9 | 79 ± 12 | 71 ± 6 | 65 ± 6 | 58 ± 6 |
| Alçada (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 |

Taula 2 L·lindars ventilatoris i àrea interl·lindars interventilatoris d'esportistes d'alta i baixa capacitat de resistència

| | Esportistes de resistència | | | | |
|---|-------------------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|
| | Ciclistes | Triatletes | Nedadors | Atletes | Total |
| $VO_2 VT_1$ (ml/min) | 2.749 ± 535 | 2.672 ± 591 | 1.692 ± 474 | 2.793 ± 525 | 2.476 ± 531 |
| HR VT_1 (batecs·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 |
| HR VT_2 (batecs·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 |
| | Esportistes de no resistència | | | | |
| | Estudiants d'educació física | Bàsquet | Futbol | Gimnàstica artística | Total |
| $VO_2 VT_1$ (ml/min) | 2.188 ± 530 | 2.967 ± 671 | 2.254 ± 514 | 1.737 ± 427 | 2.287 ± 536 |
| HR VT_1 (batecs·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 |
| HR VT_2 (batecs·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 |

HR: freqüència cardíaca; VO_2 : consum d'oxigen.

Els subíndexs màxims, VT_1 i VT_2 , indiquen primer l·lindar ventilatori i segon l·lindar ventilatori, respectivament.

ITA: àrea interl·lindars, és a dir, l'àrea definida entre VT_1 i VT_2 per a la funció ventilació/consum d'oxigen.

ports amb un baix component de resistència, els jugadors de bàsquet presentaren valors més elevats de VO_{2max} (58,33 ± 5,56 ml/min/kg) que els que obtingueren els jugadors de futbol (56,5 ± 5,03 ml/min/kg). Els estudiants d'EF i els gimnastes indicaren valors més baixos de VO_{2max} . La taula 2 mostra els valors obtinguts en VT_1 i ITA per als dos grups segons el component de resistència. En ordre descendent, els valors reportats per VT_1 són de la manera següent: atletes de pista (65,0 ± 8,6%), triatletes (58,6 ± 9,3%), ciclistes (56,0 ± 7,5%) i nedadors (55,4 ± 7,7%). Els ciclistes mostraren els valors més elevats d'ITA (35,75 ± 17,11 l²·min²) en comparació amb els triatletes (31,10 ± 15,86 l²·min²), atletes de pista (23,07 ± 12,30 l²·min²) i nedadors (16,11 ± 12,67 l²·min²). L'atletisme (pista) (65,0 ± 8,6%) i el

bàsquet (64,6 ± 10,2%) mostraren un l·lindar aeròbic més elevat (%) en comparació amb els altres esports. En referència als diferents esports i als percentatges del l·lindar anaeròbic, s'han descrit varies diferències. A més, els jugadors de bàsquet i els atletes de pista presentaren una mitjana més elevada de valors ITA respecte als altres esports (30,23 ± 13,70 l²·min², 23,07 ± 11,06 l²·min²) (taula 2).

Els valors de l'àrea del l·lindar interventilatori foren significativament més elevats en subjectes amb una capacitat de resistència elevada, per a ambdós valors absoluts ($t_{300} = 3,88$, $p < 0,001$, $d = 0,37$) i per al corregit ($T_{298} = 4,31$, $p < 0,001$, $d = 0,41$). Ambdós VT_2 i VT_1 (en percentatges respecte al VO_{2max}) foren significativament superiors en subjectes d'alta resistència ($t_{604} = 1,85$,

Taula 3 Correlacions de diferents paràmetres

| | | 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) | Correlació 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) | Correlació 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 (%) | Correlació 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 (%) | Correlació 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) | Correlació 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) | Correlació 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, àrea correcta interlindars; ITA, àrea interlindars.
 ** La correlació es significativa a nivell 0,01 (bilateral).

p = 0,033, d = 0,18) en comparació amb els de resistència baixa (t213 = 2,06, p = 0,022, d = 0,20). Els valors absoluts de VT₂ i VT₁, també, foren significativament més elevats en subjectes d'alta resistència en comparació amb els de baixa resistència (T198 = 7,37, p < 0,001, d = 0,70 i T604 = 6,07, p < 0,001, d = 0,58).

Tot i que és significatiu (p < 0,001), l'estudi d'anàlisi correlacional (taula 3) indica un ITA molt baix, en relació als valors de VT₁ i VT₂ expressats en valors absoluts (ml/min) o relatius (%). Només la correlació entre ITA i VT₂ (ml/min) es pot considerar com a sòlida i apropiada (r = 0,601). Es trobaren efectes moderats en l'àrea del lindar interventilatori (d = 0,41) i valors molt baixos en VT (d = 0,20), expressats en percentatges respecte al VO_{2max}. El valor d de Cohen fou més elevat en els VT en valors absoluts (ml/min VO₂) (d = 0,58).

Discussió

L'objectiu d'aquest estudi fou examinar l'ITA i descriure els valors del lindar interventilatori en una gran mostra d'esportistes homes especialitzats en diferents esports. Proposem que la transició aerobicoanaeròbica s'ha d'examinar mitjançant el càlcul de l'ITA, entre VT₁ i VT₂. Pel que sabem, aquest és el primer estudi que proporciona evidència d'una relació entre els VT en una gran mostra d'individus sans amb diferents nivells de condició física, que es refereix específicament a la capacitat de resistència.

Àrea del lindar interventilatori

En teoria, els VT, que marquen els límits de la transició aerobicoanaeròbica, han d'estar tan a prop com sigui possible del VO_{2max}, de tal manera que el cos pugui experimentar

condicions en què l'oxigen pugui ser emprat de forma eficient durant el major temps possible. Durant l'acidosi, que comença quan se supera VT₁, la hiperventilació compensatòria facilita la continuació de l'exercici a mesura que s'acumula l'àcid làctic. Per tant, és plausible argumentar que un ITA més alt és el resultat d'una major capacitat per fer proves de resistència i il·lustra que el subjecte és capaç de compensar l'augment de l'àcid làctic. D'aquesta manera, hi ha una forta correlació entre lactat i VT^{3-5,16}. Una vegada superat el VT₂, la concentració plasmàtica de l'àcid làctic augmenta notablement. Aquest és el resultat de l'augment de la producció d'àcid làctic i d'una taxa reduïda de depuració. Com a resultat, la nostra investigació demostra que els valors ITA més elevats es troben en ciclistes i triatletes, esports en què l'alta capacitat de resistència és vital per a un rendiment d'alt nivell. Tanmateix, no es pot explicar simplement un valor de l'ITA elevat en els jugadors de bàsquet, ja que el bàsquet no es considera com a prevalent en la resistència¹⁷.

Es van obtenir els valors més alts d'ITA en el ciclisme, seguit del triatló i el bàsquet. L'atletisme (pista) i el bàsquet reporten els valors màxims de lindar aeròbic (%) en relació amb VO_{2max}, per damunt d'altres esports (fig. 2). Hi ha una diferència significativa entre els resultats del lindar anaeròbic (%) i el consum màxim d'oxigen entre els esports.

Els lindars ventilatoris (% respecte a VO_{2max})

La mitjana de valors del lindar aeròbic dels ciclistes, expressats en percentatges, foren 56,6 ± 7,5%. Els nostres resultats són similars als reportats per Zapico et al. (2007): novembre-desembre (50 ± 2,4%), gener-febrer (61 ± 2,1%) i maig-juny (56 ± 2%). No obstant això, estan molt per sota dels valors de Pardo (2001): novembre-desembre (76,1 ± 1,3%), gener-febrer (72 ± 1,5%) i maig-juny (73,1 ± 1,3%), que analitzà l'evolució

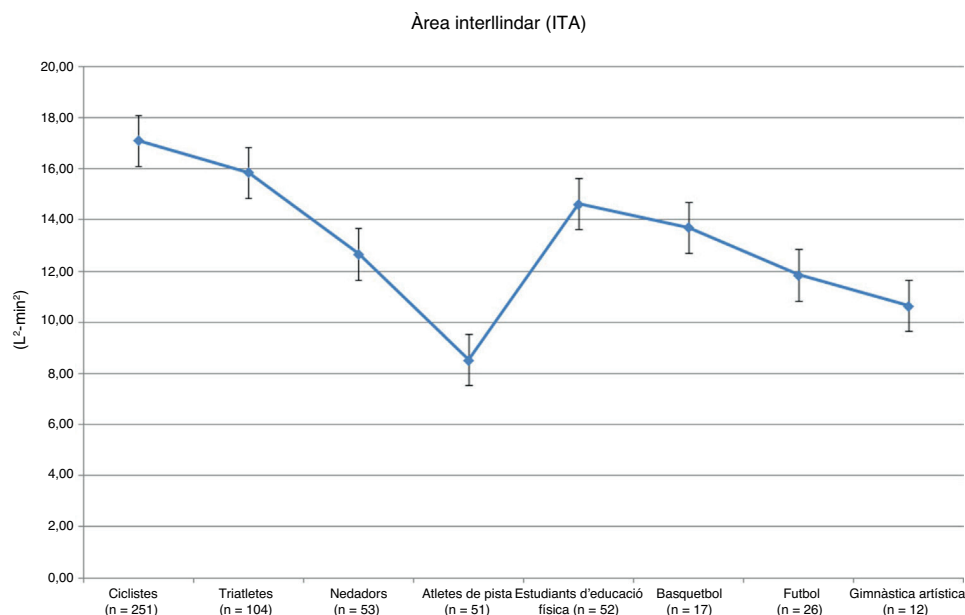


Figura 2. Valors mitjans de l'àrea del lindar interventilatori dels diferents esports.

lució de la transició aerobicoanaeròbica durant tota una temporada de competició. Els nostres resultats també difereixen dels trobats per Withers et al. (1981) (66,3%) i Simon et al. (1986) (65,8%). Les diferències poden ser degudes a les variants terminològiques i de metodologia emprades per determinar la transició aerobicoanaeròbica². Les relacions entre ITA per a la funció VO_2/V_E i VT_2 (associades amb les variables ergoespiromètriques presents) s'expliquen pel fet que un VT_2 més gran produeix un ITA més gran. Les posicions de VT_1 i VT_2 dels ciclistes de la present investigació són similars a les descrites en altres estudis^{9,11,18-20}. En general, l'ITA dels ciclistes fou superior en comparació amb els altres esports amb característiques de menor resistència.

A la nostra investigació, la mitjana de valors dels llandars aeròbic i anaeròbic dels triatletes, expressats en percentatges, foren del $58,6 \pm 9,3\%$ i del $86,0 \pm 6,4\%$, respectivament. Galy et al. (2003) investigaren l'evolució dels paràmetres fisiològics sobre els paràmetres estacionals i van trobar un percentatge de lindar aeròbic que va des del $73,8 \pm 0,2\%$ al $75,6 \pm 0,2\%$, i per al lindar anaeròbic del $79 \pm 0,2\%$ al $88,9 \pm 0,2\%$. És plausible suposar que les diferències en els valors dels llandars aeròbics reportats, entre les investigacions, són el resultat del mètode utilitzat per determinar la transició aerobicoanaeròbica. Vam descobrir que el mètode utilitzat era el mateix que el nostre²¹. Altres estudis²²⁻²⁵ reportaren grans variacions en els VT (que van del 61 al 81%). A més, les diferències i la variabilitat es poden explicar per la nomenclatura utilitzada en termes de transició aerobicoanaeròbica² pels mètodes per determinar els llandars²² i per la modalitat d'exercici²⁶.

En natació, futbol, gimnàstica, atletisme (pista) i EF, els percentatges del lindar aeròbic, respecte a VO_{2max} , foren molt similars (oscil·laven entre el 51,7 i el 55,8%), però foren inferiors als dels esports específics de resistència. Per tant, els valors més alts obtinguts d'aquest paràmetre en la transició aerobicoanaeròbica són per a l'atletisme (pista) ($65,0 \pm 8,6\%$) i el bàsquet ($64,6 \pm 10,2\%$). El percentatge

mitjà del lindar anaeròbic és molt similar en tots els esports (oscil·la entre el 80 i el 89%). Els nostres resultats concorden amb els informes de Bunc et al. (1987), que investigaren un total de 223 atletes de pista molt ben entrenats. En concret, el percentatge de llandars anaeròbics varia entre el 80,5 i el 86,6%. Els atletes de pista i els jugadors de bàsquet presenten els valors percentuals dels llandars aeròbics més elevats respecte al VO_{2max} , sobre tots els altres esports. Entre els esports, hi ha una diferència significativa en els percentatges de llandars anaeròbics del consum màxim d'oxigen reportats.

Expressió dels llandars ventilatoris

En aquest estudi es va avaluar el grau d'associació entre els VT en les dues categories d'atletes de pista estudiats. Creiem que la forma en què s'expressen els VT pot generar resultats significativament diferents. El càlcul d'ITA té com a objectiu ajudar i explicar els elevats valors que es troben normalment en la resistència d'atletes de pista. Es podria esperar que els atletes de pista amb un component de resistència més gran (tant en l'entrenament com en la competició) presentessin valors relatius significativament alts. Tanmateix, no es van detectar diferències significatives entre els grups amb un component de resistència alta i baixa per a ambdós VT_1 ($59 \pm 8,3\%$ versus $56,8 \pm 9,4\%$) i VT_2 ($85,5 \pm 6,5\%$ versus $84,6 \pm 6,3\%$).

En aquest estudi, els individus amb una capacitat de resistència baixa presentaren un valor mitjà de VT_1 de $55,94 \pm 10,3$ i un valor VT_2 de $84,26 \pm 6,9$, respectivament, mentre que els individus amb una alta capacitat de resistència tenien valors de $57,88 \pm 8,5$ i $85,4 \pm 6,4$, respectivament. Quan es calculà la grandària de l'efecte, l'atleta mitjà amb una capacitat de resistència alta superaria aproximadament el 58% ($d = 0,20$; 57,8%) de la mostra d'atletes amb una capacitat de resistència baixa. Per tant, no és convenient expressar els VT com a percentatge de VO_{2max} . Tan-

mateix, la grandària de l'efecte per a la superfície del llin- dar interventilatori i els VT expressats en valors absoluts (ml/min) són maneres adequades d'expressar la transició aerobicoanaeròbica.

La grandària de l'efecte dels valors absoluts de VT_1 i VT_2 d'atletes de resistència baixa, $2.253 \pm 606,26$ (VT_1) i $3.381,76 \pm 641,87$ (VT_2), significa que aproximadament el 71% podria tenir valors més alts que la corresponent població d'atletes de resistència baixa ($2.614,50 \pm 635,09$ i $3.856,91 \pm 787,02$ per a VT_1 i VT_2 , respectivament) ($d = 0,50$, $69,1\%$). La grandària de l'efecte de l'àrea del llin- dar interventilatori és menor ($d = 0,40$, $65,5\%$) que VT_1 i VT_2 en valors absoluts. Creiem que és convenient expressar els VT primer com a valors absoluts, i segon, com a valors en termes d'àrea del llin- dar interventilatori, però mai com a percentatges de VO_{2max} .

Quan la grandària obtinguda de l'efecte s'estima per damunt d'un 58% ($d = 0,20$; $57,8\%$) de la població d'atletes amb una capacitat de resistència baixa, els valors de VT_1 i VT_2 seran diferents de la mostra de mitjana d'atletes amb alta resistència. Per tant, no és convenient expressar els VT com a percentatges de VO_{2max} . Tanmateix, la grandària de l'efecte d'ITA i els VT expressats en valors absoluts (ml/min) són maneres adequades d'expressar la transició aerobicoanaeròbica. Aproximadament el 66% de la població de baixa resistència seria més gran que l'àrea corresponent d'alta resistència ($d = 0,40$; $65,5\%$), mentre que gairebé el 71% del llin- dar ventilatori (ml/min) seria més alt en els atletes de resistència de pista. Per tant, sembla adequat expressar els VT primer com a valors absoluts, i en segon lloc com a valors en termes de l'àrea del llin- dar interventilatori.

Conclusió

L'ITA és un mètode senzill per avaluar la relació entre els VT. L'ITA permet distingir entre esportistes amb diferents capacitats de resistència. A més, és inadequat expressar els llin- dars anaeròbics com a percentatges respecte a VO_{2max} , ja que es fa rutinàriament. És més apropiat descriure els llin- dars com a valors absoluts del consum d'oxigen. Pel que fa a l'expressió dels VT, els resultats d'aquest estudi indiquen que l'ITA no presenta informació superior en comparació amb els valors absoluts de VT_1 i VT_2 .

Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

Bibliografia

1. Wasserman K, McLroy 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, Priento 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 [consultat 17 Mai 2008]. Disponible a: <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 shortcourse 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.