

El VT2 se encuentra muy próximo al 90% de la frecuencia cardíaca máxima individual

DE YZAGUIRRE, I., SUÑE D., HUELIN F., DULANTO D., GUTIÉRREZ JA.

Consell Català de l'Esport, Barcelona.
Centre de Medicina de l'Esport,
Ajuntament de Granollers.
SEMAE, Departament Fisiologia
Divisió III Universitat de Barcelona.
Hospital de Basurto.

CORRESPONDENCIA:

Ignasi de Yzaguirre
Consell Català de l'Esport
Av. Països Catalans 12, 08950,
Esplugues de Llobregat, Barcelona, España
E-mail: 14521iy@comb.es

RESUMEN:

Objetivo: El objetivo de este trabajo consiste en establecer una relación entre el segundo umbral ventilatorio (VT2) y la frecuencia cardíaca máxima (FCM), ambos determinados por tests progresivos máximos en cicloergómetro.

Métodos: Se administró un test triangular progresivo minutado hasta el máximo esfuerzo en cicloergómetro (estado inicial 60W con incrementos de 30W · min⁻¹) a un grupo de 315 deportistas, 244 hombres (24,7 ± 9 años; 68 ± 7,3 kg; 174 ± 6 cm; 10,6 ± 1% grasa; 185,3 ± 11,7 FCM) y 29 mujeres (21,5 ± 5 años; 55,29 ± 5 kg; 163,1 ± 5,3 cm; 11,5 ± 1% grasa; 185,5 ± 10,2 FCM). La frecuencia cardíaca (FC) se relacionó con el VT2 y con la edad. El sexo, la edad y el período de la temporada se compararon con la FC correspondiente al VT2 (%FCM_{VT2}).

Resultados: La media del %FCM_{VT2} es de 90,17 ± 3,21 (límite estadístico inferior (LEI)=77,89, límite estadístico superior (LES) = 97,63). 1SD (LEI = 86,96, LES = 93,38; 68,25% de la muestra). 2SD (LEI = 83,75, LES = 96,59; 81,85% de la muestra). El test one-way ANOVA muestra que no existen diferencias significativas (p>0,05) del %FCM_{VT2} según el sexo (p = 0,20), la edad (p = 0,18) y el mes de la temporada (p = 0,18). Se establece una recta de regresión FCM vs. edad que muestra un coeficiente de correlación (r = -0,54) y una función y = ax + b (FCM = 202,0 - 0,68 · edad).

Conclusiones: Se acepta como método a tener en cuenta el cálculo de la FC correspondiente al VT2 segundos (FC_{VT2} = 90,17% FCM), aceptando un error del 6,42% de la FCM (2SD, 81,85% de la población).

PALABRAS CLAVE: Segundo umbral ventilatorio (VT2), Frecuencia cardíaca máxima (FCM), Test progresivo.

SUMMARY.

Objective. The objective of this work consists of establishing a relationship between the second ventilator threshold (VT2) and maximum heart rate (MHR), both determined by progressive maximum tests carried out in cycloergometer.

Methods. A progressive triangular test was carried out until maximum effort in a cycloergometer (initial state 60w with increases of 30w.min⁻¹) to a group of 315 sportsmen, 244 male (24,7±9 years; 68±7,3 kg; 174±6 cm; 10,6±1% fat; 185,3±11,7 FCM) and 29 female (21,5± 5 years; 55,29±5 kg; 163,1±5,3 cm; 11,5±1% fat; 185,5±10,2 FCM). The heart rate (HR) was related to VT2 and age. Sex, age and season were compared with the HR corresponding to VT2 (%HRM_{VT2}).

Results. %HRM_{VT2} average is 90,17±3,21 (inferior statistical limit (ISL)=77.89, superior statistical limit (SEL)=97.63. 1SD (ISL) = 86.96, SEL= 93.38; 68.25% of the sample). 2SD (ISL = 83.75, SEL = 96.59; 81.85% of the sample). The one-way ANOVA test demonstrates that there are no significant differences (p>0.05) of %FCM_{VT2} according to sex (p=0.20), age (p=0.18) and the month of the season (p=0.18). A straight line of regression MHR versus age, that shows a correlation coefficient (r= -0.54) and a function y = ax + b (MHR = 202.0 - 0.68 age), is established.

Conclusions. It is accepted as a method to calculate the HR corresponding to the VT2 seconds (HR_{VT2} = 90.17 % MHR), acknowledging an error of 6.42% regarding the MHR (2SD, 81.85% of the population).

KEY WORDS: Second Ventilatory Threshold (VT2), Maximum heart rate (MHR), Progressive test.

En la actualidad, uno de los parámetros más utilizados en la prescripción de la intensidad de trabajo en los deportes de resistencia es la frecuencia cardíaca (FC)^(7,8,9,12). El uso de los pulsómetros con memoria supone un sistema de "feedback" inmediato para el deportista y nos permite registrar la evolución de este parámetro de forma fácil a lo largo del entrenamiento. No obstante, hay que tener en cuenta que en ejercicios de duración larga existe una desviación fisiológica de la FC denominada cardio deriva^(16,23).

En el año 1954, Hollman y cols. Intentaron fijar parámetros submáximos que les permitieran determinar el estado físico^(17,18). Con anterioridad, Hollmann describió por primera vez el "point of the optimum ventilatory efficiency (PoW)" y el concepto de "transición aero-anaeróbica"⁽²⁾. Con posterioridad, Wasserman y McIlroy⁽³⁾ introdujeron el concepto operativo de "anaerobic threshold" (AT).

Fruto de esta investigación apareció el concepto del segundo umbral ventilatorio (VT2). El VT2 representa la intensidad en la que la acumulación de lactato en sangre aumenta decisivamente (la producción supera la limpieza) y se acompaña por una hiperventilación adicional, en un intento de ocultar la acidosis⁽¹³⁾. El VT2 está considerado como un detector correcto del estado físico en el ejercicio de resistencia^(10,11,22).

El objetivo de este trabajo consiste en establecer una relación entre el segundo umbral ventilatorio (VT2) y la frecuencia cardíaca máxima, ambos determinados por tests progresivos máximos en cicloergómetro.

MÉTODOS

Sujetos

En este estudio se seleccionaron 315 deportistas, la mayoría ciclistas (n = 274), de nivel regional y nacional, para realizar un test triangular progresivo minutado hasta el esfuerzo máximo en cicloergómetro. Los tests formaban parte de las evaluaciones realizadas por las federaciones de donde provenían los deportistas, dando éstos su consentimiento.

Todos los sujetos estaban familiarizados con el protocolo y con el material del test en cuestión. Se aplicó un examen médico previo, incluyendo ECG en reposo y ecocardiograma, en los pacientes con comportamientos cardíacos anómalos para descartar posibles problemas de salud en los participantes.

Los tests se administraron entre los años 1991 y 2001, bajo condiciones ambientales estándares. El día anterior al test sólo se permitía un trabajo regenerativo. Todos los tests se realizaron por la mañana tras un desayuno normal.

El porcentaje de grasa total fue determinado por el método adipométrico de Faulkner (13) en cinco puntos diferentes. Los datos antropométricos se muestran en la tabla 1.

Protocolo

El test espiroergométrico se realizó en un cicloergómetro (Monark 868, Vansbro, Suecia) con una resistencia inicial de 60W e incrementando la carga de trabajo cada minuto en 30W hasta que el sujeto claudicaba. Se animaba oralmente a todos los sujetos.

La FC fue registrada de forma continua por telemetría con un pulsómetro (Polar PE 3000, Polar Electro, Kempele, Finlandia). Los valores de FC representan la media de la FC registrada cada 15 sg. Cuando finalizaba la prueba se tomaba la FC de recuperación en los minutos 1, 3 y 5. Se entiende por FCM la FC máxima registrada de manera instantánea durante el transcurso de la prueba.

Los datos ventilatorios se obtuvieron con un sistema "breath-by-breath" (Oxycon Delta, Jaeger, Breda, Holanda; y Oxicon 3, Mijnhardt, Bunnik, Holanda). El valor máximo registrado de VO_2 en el transcurso de la prueba se considera el VO_{2max} .

Los resultados de las pruebas se interpretaron visualmente por un único observador. Se determinó el VT2 de cada sujeto siguiendo los criterios de JA. Davis (14) y de JS. Skinner y T. McLellann (15): incremento decisivo de la pendiente en

Tabla 1

Datos antropométricos

Sexo	N	Edad (años)	Peso (kg)	Altura (cm)	% Grasa	FCM (lpm)	FC _{VT2} (lpm)	FCM _{VT2} %
Mujer	29	21,5±5,9	55,29±5,9	163,1±5,3	11,5±1,9	185,5±10,2	170,1±8,6	91,7±2,2
Hombre	244	24,7±9,4	68±7,3	174±6	10,6±1,8	185,3±11,7	166,7±12,4	89,9±3,3

% Grasa obtenido por el método Faulkner

FCM = Frecuencia cardíaca máxima

FC_{VT2} = Segundo umbral ventilatorio de la frecuencia cardíaca

%FCM_{VT2} = %FCM correspondiente a la FC_{VT2}

Tabla II Meta-análisis

Artículo	n	Sexo	Deporte	Variable	FCM	VT2 FC	% FCM
V. Ferrer y cols. ¹	62	?	Ciclismo	-	178±8,4		90,5±3,7
V. Ferrer y cols. ²	131	?	Fútbol	Portero	196±10,9	174,3±14,5	88,9±4,7
				Centrocampista	195,8±7,3	176,1±8,3	90,4±3,5
				Central	195,1±7,2	174±10,4	89,2±6,1
				Delantero	192,6±8,6	172,2±10,8	89,3±3,2
B. Coen i cols. ³	87 24	?	Corredores y triatletas	Test 1	188±11	171±10	90,95±10,5
				Test 2	191±15	173±16	90,57±15,5
				Test 3	190±13	171±13	90±13
				Test 4	187±7	168±9	89,8±8
				Test 5	192±8	173±9	90,1±8,5

FCM: Frecuencia cardíaca máxima.

VT2: Segundo umbral ventilatorio.; Frecuencia cardíaca

¹ Ferrer V, García MJ, Carrión M, Pastor A, Martínez I. Evaluación funcional del ciclista cadete. Selección; 11(4):287. 2002

² Ferrer V, García MJ, Carrión M, Pastor A, Martínez I. Perfil fisiológico del jugador de fútbol juvenil. 2002 Selección; 11(4):287-288.

³ Coen B, Urhausen A, Kindermann W. Individual Anaerobic Threshold: Methodological Aspects of its Assessment in Running.

Int J Sports Med 2001; 22: 8-16.

la curva del equivalente ventilatorio por el oxígeno ($VE \cdot VO_2^{-1}$) y en la curva de ventilación (VE); segunda inflexión en la curva de CO_2 ; proximidad del cociente respiratorio R:1. Una vez establecido el VT2 se relacionó con la FC determinando la FC_{VT2} . Esta FC_{VT2} se comparó con la FCM obteniendo el % de la FCM correspondiente a la FC_{VT2} ($\%FCM_{VT2}$).

Estadística

Los datos se han procesado estadísticamente con el software Statgraphics 5.1 plus. Se determina la media y la desviación estándar (SD) para los valores del $\%FCM_{VT2}$, así como los LEI y LES para 1 y 2 SD. Se realiza un test de normalidad para la FC_{VT2} . Se utiliza un "one way analysis variance" (ANOVA) para saber si existen diferencias significativas entre el sexo, la edad y el mes de la temporada respecto al $\%FCM_{VT2}$. Se realiza una "locally weighted regression" entre el $\%FCM_{VT2}$ y el mes de la temporada. Se establece una recta de regresión entre la FCM y la edad.

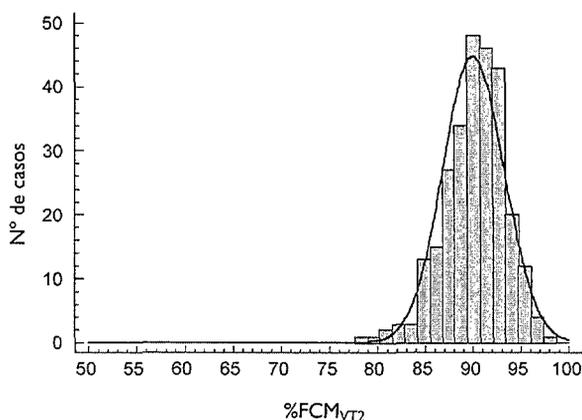
Meta-análisis

De forma complementaria se presenta un meta-análisis de tres artículos (tabla 2) donde se compara el $\%FCM_{VT2}$ en diferentes deportes: ciclismo (n = 62), futbolistas (n = 131) y corredores y triatletas (n = 111). Los resultados de los estudios de V. Ferrer y cols. (19, 20) se determinan a partir del VT2, mientras que los de B. Coen y cols. (21) se determinan a partir del "individual anaerobic threshold" (IAT).

RESULTADOS

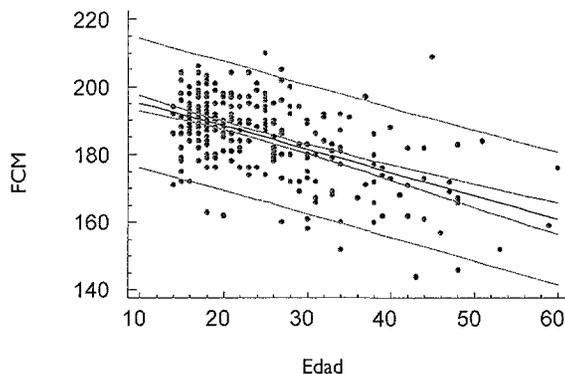
La media de la FC_{VT2} (90,17_3,21, LEI = 77,89, USL = 97,63).1SD (LES = 86,96, USL = 93,38; 68,25% de la muestra). SD (LEI = 83,75, LES = 96,59; 81,85% de la población) y se distribuye según la curva no normal del gráfico 1. Se rechaza la hipótesis de que el $\%FCM_{VT2}$ siga una distribución normal ya que existe una $p < 0,001$ en, al menos, uno de los tests aplicados (Chi-cuadrada $p = 0,00$; Shapiro-Wilkins $W p = 0,00$, Z score for skewness $p = 0,00$, Z score for kurtosis = 0,001). Puede verse en la distribución del $\%FCM_{VT2}$ en el histograma de la figura 1.

El test one-way ANOVA muestra que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) del $\%FCM_{VT2}$ según el sexo ($p = 0,20$), la edad ($p = 0,18$) y el mes de temporada ($p = 0,18$).

Figura 1 Histograma de la FC_{VT2} 

Se establece una recta de regresión FCM vs Edad que muestra un coeficiente de correlación ($r = -0,54$) y una función $y = ax + b$ ($FCM = 202,0 - 0,68 \cdot \text{edad}$). Este resultado se puede observar en la figura 2.

Figura II Regresión lineal entre la FCM y la Edad



DISCUSION

En este trabajo se ha intentado ofrecer una herramienta de campo a los entrenadores para poder determinar una in-

tensidad de trabajo, expresada en FC, que se corresponda aproximadamente al VT2.

Esto no significa que no se deban de realizar pruebas de laboratorio para determinar el VT2 de una forma más acertada, sino que de manera rápida y sencilla puede tenerse una medida fiable para trabajar ($FC_{VT2} = 90\% FCM$). Si se observan los datos del meta-análisis, según Calbet (n) se puede aceptar que el grado de variabilidad en los tests realizados en laboratorios de fisiología del deporte se acerca al ***. Así, se acepta una variabilidad del XXX en los valores obtenidos en los tests de laboratorio. El método que se propone no se aleja mucho de estos resultados y presenta un error del 6,42% de la FCM (2SD, 81,85% de la población); es por esto que resulta un método adecuado a tener en cuenta.

La hipótesis de que el $\%FCM_{VT2}$ sigue una distribución normal ha sido refutada (Chi-cuadrada $p = 0,00$; Shapiro-Wilkins $W p = 0,00$, Z score for skewness $p = 0,00$, Z score for kurtosis = 0,001). Creemos que esto se debe a falsas pruebas máximas que han finalizado antes de conseguir la FCM individual.

En conclusión, no se han encontrado diferencias significativas por el $\%FCM_{VT2}$ según la edad, sexo o período de la temporada. Hay que tener en cuenta que el número de mujeres ($n = 29$) era muy inferior al de hombres ($n = 244$).

Bibliografía

- [1] HILL, A.V., C.N.H. LONG AND H.LUPTON, Muscular exercise, lactic acid and the supply utilization of oxygen-parts VII-VIII. Proceedings of the Royal Society of Britain, 1924. 97: p. 156-160.
- [2] HOLMAN, W. Der Arbiets und Trainingseinfluss auf Kreislauf und Atmung. Darmstadt, 1959.
- [3] WASSERMAN, K. AND M. MCILLROY. Detection of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. Am. J. Cardiol. 14:844-852, 1964.
- [4] KINDERMANN, W., G. SIMON, and J. KEUL. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the detection of work load intensities during endurance training. Eur. J. Appl. Physiol. 52:25-34, 1979.
- [5] MADER, A., H. LIESEN, H. HECK, H. PHILIPPI, and R. ROST. Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Dtsch. Z. Sportmed. 27:80-112, 1976.
- [6] CONCONI, F., M. FERRARI, P. G. ZIGLIO, P. DROGHETTI, and L. CODECA. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J. Appl. Physiol. 52:869-873, 1982.
- [7] GILMAN, M. B. The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. Int. J. Sports Med. 21:73-79, 1996.
- [8] O'TOOLE ML, DOUGLAS PS, HILLER WD. Use of heart rate monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. J Sports Med Phys Fitness. 38(3):181-7. 1998.
- [9] JEUKENDRUP, A., and A. VAN DIEMEN. Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. J Sports Sci. 16:S91-S99, 1998.
- [10] LAURSEN PB, SHING CM, TENNANT SC, PRENTICE CM, JENKINS DG. A comparison of the cycling performance of cyclists and triathletes. J Sports Sci. 21(5):411-8, 2003.
- [11] ZACHAROGIANNIS E, FARRALLY M. Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. J Sports Med Phys Fitness. 33(4):337-47, 1993.
- [12] ACHTEN J, JEUKENDRUP A. Heart rate monitoring: applications and limitations. Sports Med. 33(7):517-38. 2003.
- [13] FAULKNER F, and TANNER JM. Human Growth. 2nd edn. 3vol. Plenum NewYork.1986.
- [14] SKINNER JS, MCLELLAN T, The transition from aerobic to anaerobic metabolism. Res Quart Exercice and Sports. 51(1):234-248. 1980.

- [15] DAVIS JA. Anaerobic threshold: a review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 17:6-18. 1985.
- [16] BOULAY MR, SIMONEAU JA, LORTIE G, BOUCHARD C. Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Med Sci Sports Exerc.* 29(1):125-32. 1997.
- [17] HOLLMANN W. The relationship between pH, lactic acid, potassium in the arterial blood and venous blood, the ventilation, PoW and pulse frequency during increasing spirometric work in endurance trained and untrained persons. 3. Pan-American Congress for Sports Medicine. Chicago. Nov 29. 1959.
- [18] BOLT W, HOLLMANN, SCHILD KT, et al. The pyruvate and lactate level in the blood during exercise. *Arztl Wschr.* 30: 656-62. 1956.
- [19] FERRER V, GARCÍA MJ, CARRIÓN M, PASTOR A, MARTÍNEZ I. Evaluación funcional del ciclista cadete. *Selección.* 11(4):287. 2002.
- [20] FERRER V, GARCÍA MJ, CARRIÓN M, PASTOR A, MARTÍNEZ I. Perfil fisiológico del jugador de fútbol juvenil. *Selección.* 11(4):287-288. 2002.
- [21] COEN B, URHAUSEN A, KINDERMANN W. Individual Anaerobic Threshold: Methodological Aspects of its Assessment in Running. *Int J Sports Med.* 22: 8-16. 2001.
- [22] LUCIA A, HOYOS J, PEREZ M, CHICHARRO JL. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Med Sci Sports Exerc.* 32(10):1777-82. 2000.
- [22] VAGO P, MERCIER J, RAMONATXO M, PREFAUT C. Is ventilatory anaerobic threshold a good index of endurance capacity?. *Int J Sports Med.* 8(3):190-5. 1987.
- [23] BOULAY MR, SIMONEAU JA, LORTIE G, BOUCHARD C. Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Med Sci Sports Exerc.* 29(1):125-32. 1997.
- [24] DAVIS JA, FRANK MH, WHIPP BJ, WASSERMAN K. Anaerobic threshold alteration caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol.* 46:1039-1046. 1979.
- [25] CAIOZZO VJ, DAVIS JA, ELLIS JF, AZUS JL, VANDAGRIFF R, PRIETTO CA, MALMASTER WC. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol.* 53:1184-1189. 1982.
- [26] WELTMAN A, SNEAD D, STEIN P, SEIP R, SCHURRER R, RUTT R, WETMAN J. Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations and VO₂max. *Int J Sports Med.* 11:26-32. 1990.
- [27] REYBROUCK T, CHESQUIERE J, CATTART A, FAGARD R, AMERY A. Ventilatory threshold during short- and long-term exercise. *J Appl Physiol.* 55:1694-1700. 1983.
- [28] POOLE DL, GAESSER GA. Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *J Appl Physiol.* 58:1115-1121. 1985.
- [29] AUNOLD S, RUSKO H. Aerobic and anaerobic threshold determined from venous lactate or from ventilation and gas exchange in relation to muscle fiber composition. *Int J Sports Med.*
- [30] FELIU J, VENTURA JL, RIERA J. Variacions individuals dels diferents paràmetres biològics quantificats amb una prova d'esforç esglaonat. *Apunts.* 25:141-147. 1988.

