
VALIDEZ DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA PARA LA DETECCIÓN DE UMBRALES

MÁSTER DE ALTO RENDIMIENTO Y SALUD

2017-2018

ALUMNO:

Juan Luis Navarro Camarasa

TUTOR ACADÉMICO:

D. José Manuel Sarabia Marín

LABORATORIO DE ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO

RESUMEN

En el ámbito deportivo, la utilización de diferentes zonas de intensidad es un aspecto clave para la organización de las cargas y su orientación. Por ello, encontrar herramientas sencillas, económicas y no invasivas es interesante para este ámbito. En estudios previos se ha propuesto la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) como método válido para la detección en personas sanas y determinadas patologías. El objetivo de este estudio es analizar la validez de esta herramienta en ciclistas entrenados. Para la realización de este trabajo final de máster, se comparó un método de detección de umbrales a través de la VFC y el análisis de los equivalentes ventilatorios, considerado como test de referencia. Participaron 15 ciclistas con al menos 2 años de experiencia en este deporte. Realizaron 3 test incrementales en diferentes momentos de la temporada, donde se registró de forma simultánea la ventilación y la VFC. A continuación se detectaron los diferentes umbrales (aeróbico y anaeróbico) con ambas metodologías y se comprobó la concordancia y correlación entre ambos métodos.



ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MÉTODO	6
<i>Sujetos</i>	6
<i>Diseño</i>	6
<i>Análisis estadístico</i>	9
3. BIBLIOGRAFÍA	10



1. INTRODUCCIÓN

En el entrenamiento deportivo es importante el análisis y conocimiento de ciertas variables fisiológicas para controlar la carga externa o carga de entrenamiento (por ejemplo, distancia y potencia) y su efecto en el organismo o carga interna (por ejemplo, la frecuencia cardíaca y la percepción del esfuerzo). El dominio de estas variables es de gran importancia para controlar las adaptaciones adecuadas con el objetivo de alcanzar un mayor rendimiento deportivo (Wallace, Slattery, & Coutts, 2014). En los deportes de resistencia y en concreto el ciclismo el sistema cardiorrespiratorio toma gran importancia, y la prescripción de ejercicio apropiada para la mejora de este sistema es muy importante para la seguridad y efectividad de los programas de entrenamiento (Cunha et al., 2014).

Para escoger y maximizar las adaptaciones que propicia el entrenamiento de la resistencia cardiorrespiratoria es necesario un preciso manejo de las variables que definen la carga: Volumen, Intensidad y Densidad. La Intensidad es el componente que en mayor medida va a condicionar las adaptaciones del sistema cardiorrespiratorio (Pallarés & Morán-Navarro, 2012). Estos ajustes en el organismo varían en función del grado de intensidad aplicado. Como referencia, se suelen usar una serie de variables para la valoración del rendimiento y la prescripción del entrenamiento de resistencia como son el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx), la frecuencia cardíaca máxima (FCmax) y la potencia (W) (Pallarés & Morán-Navarro, 2012).

En el campo del entrenamiento de resistencia cardiovascular o del entrenamiento aeróbico, el ítem más importante relacionado con la velocidad o la producción de potencia en el ejercicio es el nivel de metabolismo aeróbico que se puede mantener durante una carrera (VO_2), y el límite superior es el VO_2 máx (Joyner & Coyle, 2008). El VO_2 máx se consigue con un ejercicio que implique el uso de una masa muscular relativamente grande y representa la capacidad del corazón para generar un alto gasto cardíaco, la producción de hemoglobina corporal total, flujo sanguíneo muscular alto y un alto nivel de intercambio gaseoso (Joyner & Coyle, 2008).

Existe un abanico de intensidades para el desarrollo de la resistencia cardiorrespiratoria, dependiendo de las diferentes rutas metabólicas de obtención de energía. Estas distintas zonas de intensidad producirán en el organismo distintas adaptaciones fisiológicas a medio-largo plazo (Pallarés & Morán-Navarro, 2012). Es de gran importancia para la planificación del entrenamiento analizar en qué porcentaje del VO_2 máx, FC, velocidad y/o potencia se usa cada vía metabólica. Estos porcentajes de intensidad umbral no son estáticos, varían dependiendo del sujeto y del entrenamiento. Por ello se usan valoraciones para detectar estos umbrales aceptadas en la literatura, con el objetivo de individualizar las zonas de entrenamiento a cada sujeto (Robert W. Pettitt, Ida E. Clark, Stacy M. Ebner, Daniel T. Sedgeman, 2012).

En la actualidad existen diversos métodos para calcular los umbrales aeróbico y anaeróbico, puntos de inflexión entre el uso de distintas vías metabólicas, lo cual es de especial interés en modalidades como el ciclismo (Van Schuylenbergh, Vanden Eynde, & Hespel, 2004). Para empezar, es importante definir estos umbrales, factores implicados y su importancia en el rendimiento.

Umbral Aeróbico

Aquella intensidad de esfuerzo en la que el metabolismo aeróbico se hace insuficiente por sí sólo para satisfacer las demandas energéticas y, en consecuencia, es necesario recurrir a las fuentes anaeróbicas adicionales de suministro energético (Holloszy, Coyle, John, & Adaptation, 1984). Continúa predominando el metabolismo aeróbico, la producción de energía a través del metabolismo anaeróbico es muy reducida, por lo que no genera excesiva acidez (Pallarés & Morán-Navarro, 2012). En esta ruta metabólica existe un consumo mixto de grasas e hidratos de carbono (20-40% ácidos grasos vs. 60-80% HHCC). La intensidad del umbral aeróbico se localiza en la mayor parte de sujetos entrenados entre el 65-75% del $\text{VO}_2\text{máx}$ (Pallarés & Morán-Navarro, 2012).

Umbral Anaeróbico

El umbral anaeróbico es considerado como la intensidad o la zona de transición anaeróbica, un punto de inflexión en el que el oxígeno suministrado a los músculos no resulta suficiente para cubrir las necesidades de energía, por lo que empieza a intervenir la glucólisis anaeróbica de forma predominante como proveedora de energía (Pallarés & Morán-Navarro, 2012). A partir de este umbral si la intensidad continúa incrementándose, se producirá a su vez un aumento de producción de lactato por encima de lo que el organismo es capaz de resintetizar (Coso, Hamouti, Aguado-Jimenez, & Mora-Rodriguez, 2009).

Cómo se ha dicho antes, existen diferentes metodologías validadas para detectar estos umbrales, gran parte de ellas de forma invasiva en laboratorio o que suponen grandes costes, entre la que destaca como “Gold Standard” o de referencia por sus elevados índices de reproducibilidad el análisis mediante espirometría de los equivalentes ventilatorios de O_2 y CO_2 en un test incremental (López Chicharro, Vicente Campos, & Cancino López, 2013). También el análisis del nivel de lactato en sangre, metodología similar a la anterior, mediante un test incremental, tomando muestras de lactato en intervalos de tiempo (Van Schuylenbergh et al., 2004). Sin embargo, estas metodologías son costosas e invasivas para los deportistas. Por lo tanto, existe la necesidad de obtener un método alternativo para detectar de manera fácil y precisa los umbrales. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un método innovador, que posiblemente puede ser de gran ayuda para el análisis de dichos umbrales (Mankowski et al., 2016). Desde hace relativamente poco tiempo, en el ámbito del ejercicio físico y el rendimiento deportivo, la VFC está adquiriendo un gran protagonismo debido a que es un parámetro no invasivo y fácil de medir que refleja de manera global el estado del sistema nervioso autónomo. La VFC es el resultado de las interacciones entre el sistema nervioso autónomo (SNA) y el sistema cardiovascular (Guzmán & Romero, 2009). En una persona sana los latidos se van produciendo con una frecuencia variable, es decir, el tiempo (en milisegundos) entre latido y latido o intervalo RR es variable. Ante un estado de elevada fatiga, se ve reducido el tiempo entre intervalos RR. Este sistema de regulación autónoma se basa en un equilibrio entre dos sistemas que trabajan de manera dependientes el uno del otro, la rama simpática y la rama parasimpática del SNA (Rodas, Pedret Carballido, Ramos, Capdevila, &

Sant Antoni Abad Mútua Activa, 2008). En deportistas nos aporta información acerca de la adaptabilidad al entrenamiento, o la competición, pudiendo ser un buen marcador del nivel de fatiga o sobreentrenamiento (Nuuttila, Nikander, Polomoshnov, Laukkanen, & Häkkinen, 2017).

Durante el ejercicio, la VFC se ve sujeta a cambios, cuando la intensidad del ejercicio aumenta la VFC tiende a descender. Más concretamente, durante una prueba incremental se ha observado que cuando se llega a un nivel determinado de intensidad la VFC cae bruscamente y posteriormente se estabiliza (Shiraishi et al., 2018). Otro estudio afirma que este parámetro puede ser eficaz para la evaluación y prescripción del ejercicio físico, ya que parece identificar un cambio en la VFC de forma que cuando esta variable desciende y se estabiliza puede coincidir con el umbral aeróbico y posteriormente asciende bruscamente coincidiendo con el umbral anaeróbico (Mankowski et al., 2016). Por lo que afirman que uno de los beneficios sería evitar costos económicos con métodos invasivos para la detección de umbrales y hagan que estos sean de difícil acceso para una parte importante de la población.

Este trabajo final de master tiene como objetivo comprobar la validez concurrente de la determinación de los umbrales aeróbico y anaeróbico mediante el análisis de la VFC durante una prueba de esfuerzo incremental en ciclistas.



2. MÉTODO

Sujetos

En el estudio participaron 20 ciclistas entrenados, de entre 16 y 40 años y con una experiencia en este deporte de al menos 2 años. Todos participaban de forma activa en competiciones. Las características de los participantes se recogen en la Tabla 1. Previamente a la participación en este estudio, todos los participantes firmaron un consentimiento informado donde se les describía las características del estudio y se les indicaba que se respetaría la confidencialidad de los participantes. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Miguel Hernández (DPS.JSM.02.18) y adaptado a las recomendaciones de conformidad de la Declaración de Helsinki. Aun así, el estudio se finalizó con una muestra de 15 ciclistas, debido al abandono de 5 sujetos por la discontinuidad voluntaria en el estudio.

	Promedio	DT
Edad (años)	28,21	10,64
VO ₂ máx (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	63,16	5,98
Peso (kg)	73,48	8,49
Altura (cm)	1,76	0,05

Tabla 1. Características de los participantes.

VO₂máx. (Volumen de oxígeno máximo, medido en mililitros por kilogramo por minuto).

Diseño

Se realizaron 3 valoraciones en diferentes momentos durante la temporada: un test inicial (T0) para familiarizar a los sujetos con dicha evaluación, una semana después se les realizó una segunda evaluación (T1), por último 8 semanas después se realizó la última evaluación (T2).

Se registró la variabilidad de la frecuencia cardiaca durante un test incremental en las 3 evaluaciones (T0, T1 y T2).



Figura 1. En esta figura se puede ver la temporalización del estudio

Test de Ejercicio Incremental

El propósito de este test fue obtener el VO_{2max} , el primer y segundo umbral ventilatorio (VT1 y VT2) mediante un test máximo incremental en laboratorio con análisis de gases espirados. El test consistió en un calentamiento de 10 minutos a 50W, seguido de un incremento de 25W cada minuto hasta que el deportista llegue a la extenuación. Los participantes realizaron la prueba con su propia bicicleta colocada sobre el rodillo Wahoo Kickr Power Trainer (Silva, Lott, Wickrama, Mota, & Welk, 2011). El Wahoo Kickr Power Trainer se calibró en el minuto 9 del calentamiento, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Los sujetos eran libres de utilizar la cadencia en la que ellos se sintieran cómodos, y que mantenían constante durante el test. El test finalizaba cuando la cadencia bajaba más de 10 pedaladas por minuto (rpm) de la cadencia elegida por más de 10 segundos. Durante el test, se le animaba al sujeto mediante estímulos verbales para asegurarnos de que este rindiera hasta su capacidad máxima.

El análisis de gases respiratorios se llevó a cabo mediante el analizador de gases MasterScreen CPX (Jaeger Leibniztrasse, Hoechberg, Germany). El dispositivo fue calibrado antes de cada test siguiendo las recomendaciones del fabricante. Para determinar el VO_{2max} se obtuvo del valor medio de los últimos 30 segundos de la prueba. Para determinar VT1 y VT2 se usaron los equivalentes ventilatorios de VO_2 (EqO_2) y VCO_2 ($EqVO_2$) promediados cada 15 segundos (Robert W. Pettitt, Ida E. Clark, Stacy M. Ebner, Daniel T. Sedgeman, 2012), y de forma visual mediante una gráfica formada por VE/VO_2 y VE/VCO_2 en el eje de abscisas (y) y el tiempo en el eje de ordenadas (x), observando un punto de inflexión en EqO_2 , mientras $EqCO_2$ se mantiene en una meseta, de esta forma se determina de forma temporal VT1. En cuanto a VT2 se puede observar un repentino ascenso de ambos equivalentes ventilatorios (se puede ver un ejemplo en la figura 2).

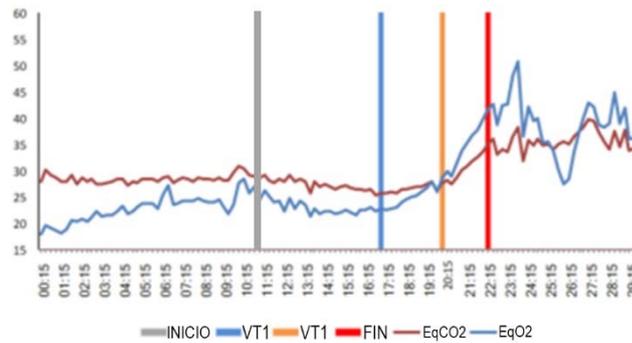


Figura 2. Gráfica de los equivalentes ventilatorios. Con los marcadores de inicio y final de prueba, VT1 y VT2.

Una vez determinado los distintos momentos de VT1, VT2 y final de prueba se extrajeron también los datos de potencia máxima ($W_{\text{máx}}$), potencia asociada a VT1 (W_{VT1}) y VT2 (W_{VT2}).

Registro de VFC

La frecuencia cardíaca latido a latido fue registrada durante la prueba incremental mediante el uso de una banda Polar H7 (Polar Team System, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) y mediante la aplicación de móvil *Elite HRV* (Perrotta, Jeklin, Hives, Meanwell, & Warburton, 2017). Posteriormente los datos son analizados con el software *Kubios HRV* (Finland Eastern University, Kuopio, Finland) (Niskanen, Tarvainen, Ranta-Aho, & Karjalainen, 2004), para determinar la VFC en cada escalón de la prueba. Para obtener el Uan a través de la VFC (Umbral de VFC) se analiza el momento en el que los índices de actividad vagal (rMSSD normalizada) se estabilizan tras un brusco descenso (Mankowski et al., 2016). Se puede ver un ejemplo en la figura 3.

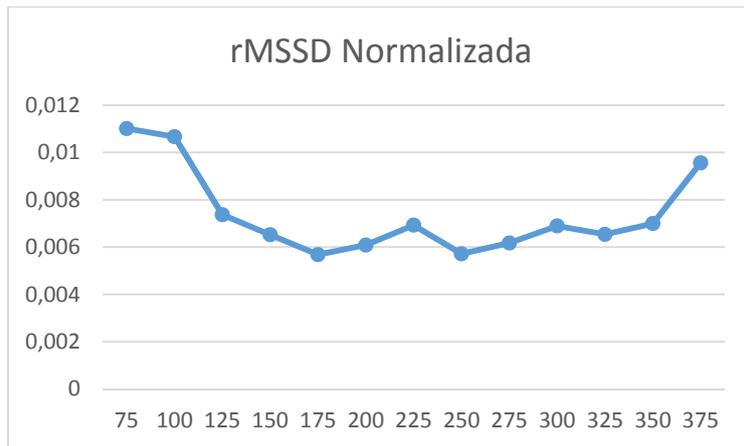


Figura 3. Tiempo (ms) en el eje “y” y Valores de rMSSD normalizada en el eje “x” de uno de los participantes durante el test incremental.

Análisis estadístico

Las características de los sujetos fueron analizadas mediante un análisis descriptivo. Las medias de los diferentes modelos de detección de umbrales fueron analizadas utilizando la prueba estadística de correlación de Pearson. De igual forma se realizó un gráfico de Bland-Altman para comparar los modelos “Gold Standard” con el umbral de VFC.

3. BIBLIOGRAFÍA

- Coso, J. Del, Hamouti, N., Aguado-Jimenez, R., & Mora-Rodriguez, R. (2009). Respiratory compensation and blood pH regulation during variable intensity exercise in trained versus untrained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, *107*(1), 83–93. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1101-y>
- Cunha, F. A., Montenegro, R. A., Midgley, A. W., Vasconcellos, F., Soares, P. P., & Farinatti, P. (2014). Influence of exercise modality on agreement between gas exchange and heart rate variability thresholds. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *47*(8), 706–714. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20143713>
- Guzmán, J. E. O., & Romero, D. M. (2009). Variabilidad de la frecuencia cardiaca”, (January 2008), 2009. Retrieved from <http://www.efdeportes.com/>
- Holloszy, J. O., Coyle, E. F., John, O., & Adaptation, E. F. C. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *The American Physiological Society*, 831–838.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*, *586*(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- López Chicharro, J., Vicente Campos, D., & Cancino López, J. (2013). Transición aeróbica-anaeróbica. *Fisiología Del Entrenamiento Aeróbico*, 117.
- Mankowski, R. T., Michael, S., Rozenberg, R., Stokla, S., Stam, H. J., & Praet, S. F. E. (2016). HEART-RATE VARIABILITY THRESHOLD AS AN ALTERNATIVE FOR SPIRO-ERGOMETRY TESTING: A VALIDATION STUDY. *National Strength and Conditioning Association*, *31*, 474–479.
- Niskanen, J. P., Tarvainen, M. P., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2004). Software for advanced HRV analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *76*(1), 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2004.03.004>
- Nuutila, O. P., Nikander, A., Polomoshnov, D., Laukkanen, J. A., & Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-Guided vs Predetermined Block Training on Performance, HRV and Serum Hormones. *International Journal of Sports Medicine*, *38*(12), 909–920. <https://doi.org/10.1055/s-0043-115122>

- Pallarés, J. G., & Morán-Navarro, R. (2012). Propuesta metodológica para el entrenamiento de la resistencia cardiorespiratoria. *Journal of Sport and Health Research*, 4(2), 119–136. <https://doi.org/ISSN:1989-6239>
- Perrotta, A. S., Jeklin, A. T., Hives, B. A., Meanwell, L. E., & Warburton, D. E. R. (2017). Validity of the Elite HRV Smartphone Application for Examining Heart Rate Variability in a Field-Based Setting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(8), 2296–2302. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001841>
- Robert W. Pettitt, Ida E. Clark, Stacy M. Ebner, Daniel T. Sedgeman, S. R. M. (2012). as Exchange Threshold and Vo2max testing for athletes: an update. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 29–39. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000227538.20799.08>
- Rodas, G., Pedret Carballido, C., Ramos, J., Capdevila, L., & Sant Antoni Abad Mútua Activa, C. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 25(123), 41–47. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a123db>
- Shiraishi, Y., Katsumata, Y., Sadahiro, T., Azuma, K., Akita, K., Isobe, S., Takatsuki, S. (2018). Real-Time Analysis of the Heart Rate Variability During Incremental Exercise for the Detection of the Ventilatory Threshold. *Journal of the American Heart Association*, 7(1), e006612. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.006612>
- Silva, P., Lott, R., Wickrama, K. a S., Mota, J., & Welk, G. (2011). Note : This article will be published in a forthcoming issue of the Journal of Physical Activity & Health . This article appears here in its accepted , peer-reviewed form ; it has not been copy edited , proofed , or formatted by the publisher . Psychosoci. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 32, 1–44. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0012>
- Van Schuylenbergh, R., Vanden Eynde, B., & Hespel, P. (2004). Correlations between lactate and ventilatory thresholds and the maximal lactate steady state in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 25(6), 403–408. <https://doi.org/10.1055/s-2004-819942>
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20.

<https://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>

