

La estimación de los umbrales aeróbico y anaeróbico: una revisión sistemática

Estimation of aerobic and anaerobic thresholds: a systematic review

Carmelo Arriaza-Gil¹

¹ *Máster en Ciencias. Universidad Autónoma de Aguascalientes, México.* <https://orcid.org/0009-0009-1756-8456>, carmelo.arriaza@gmail.com

Fecha de recepción: 22 de enero de 2024.

Fecha de aceptación: 05 de marzo de 2024.

RESUMEN

La presente investigación se centró en evaluar métodos asequibles para determinar los umbrales aeróbico y anaeróbico sin la necesidad de equipos costosos. Se abordaron alternativas como la percepción subjetiva del esfuerzo, el talk test, la velocidad crítica y el punto de deflexión de la frecuencia cardíaca. Se identificaron un total de 776 estudios potenciales para los fines de esta revisión. Después del proceso de filtrado, fueron 59 los artículos seleccionados para lectura a texto completo, incluyéndose finalmente 13 estudios. Se concluyó que el talk test es la opción más consistente y accesible, con correlaciones altas y sin diferencias significativas con los umbrales aeróbico y anaeróbico. Aunque otras pruebas pueden ser válidas, el talk test destacó por su aplicabilidad en distintos niveles de actividad física y su consistencia en resultados.

Palabras clave: *umbral aeróbico; umbral anaeróbico; métodos de estimación; revisión sistemática*

ABSTRACT

This research aimed to evaluate affordable methods for determining aerobic and anaerobic thresholds without the need for expensive equipment. Alternatives such as subjective perception of effort, the talk test, critical speed, and the heart rate deflection point were addressed. A total of 776 potential studies were identified for the purpose of this review. After the filtering process, 59 articles were selected for full-text reading, ultimately including 13 studies. It was concluded that the talk test is the most consistent and accessible option, showing high correlations and no significant differences with the aerobic and anaerobic thresholds. Although other tests may be valid, the talk test stood out for its applicability at different levels of physical activity and its consistency in results.

Keywords: *aerobic threshold; anaerobic threshold; estimation methods; systematic review*

INTRODUCCIÓN

La medición o estimación de los umbrales aerobio y anaerobio es una de las tareas imprescindibles del proceso de control del rendimiento deportivo. Para ello, se han desarrollado diversos métodos y tecnologías que miden una serie de variables e indicadores de rendimiento como son el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.), la frecuencia cardiaca (FC), la concentración de lactato en sangre, la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE, por sus siglas en inglés), la potencia o velocidad crítica, entre otros.

El control de los umbrales aeróbico y anaeróbico tiene el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo, pues a partir de su medición, los entrenadores dosifican las cargas físicas en intensidades de trabajo enmarcadas en “zonas”, cada una con unas demandas metabólicas específicas y sus correspondientes consecuencias fisiológicas.

Wasserman y McIlroy (1964) fueron los primeros en hacer uso del concepto de umbral anaeróbico, definiéndolo como la tasa de trabajo del VO_2 a partir de la cual se produce una acidosis metabólica. Con el paso de los años, este concepto fue diversificándose y ha dado lugar a una multiplicidad de términos ambiguos. Actualmente, aún existe discrepancia entre la comunidad científica con relación a estos aspectos posiblemente debido a la falta de estandarización metodológica y a la ausencia de consenso en torno a la teoría que los fundamentan.

Esta diversidad terminológica referente a los umbrales puede distribuirse en dos grupos: los que marcan la transición de un ejercicio de intensidad moderada a alta intensidad y los que señalan el límite entre el ejercicio de alta intensidad y el de intensidad severa. En el primer grupo, principalmente identificado por el inicio en el incremento de la producción de lactato, se encuentra la terminología como primer umbral ventilatorio, umbral láctico, umbral aeróbico, OPLA (comienzo de acúmulo de lactato en plasma) o punto de óptima eficiencia respiratoria. En el segundo grupo, los términos que tienen cabida son: máximo estado estable de lactato, segundo umbral ventilatorio, umbral anaeróbico, OBLA (inicio del acúmulo de lactato en sangre) o umbral aeróbico-anaeróbico. (Poole et al., 2021)

Tras el análisis de los artículos que han formado parte de esta revisión sistemática, coincidimos con Fernández et al. (2018), en que el término más comúnmente utilizado en la literatura científica para el umbral del primer grupo es “umbral (de lactato) aeróbico”, mientras que para el del segundo grupo se emplea “umbral (de lactato) anaeróbico”.

A pesar de la importancia de los umbrales aeróbico y anaeróbico, su estimación precisa presenta desafíos significativos. Varias metodologías han sido desarrolladas a lo largo de las últimas décadas para evaluar los umbrales, pero quizás las más recurridas en las investigaciones científicas son las basadas en las concentraciones de lactato, mediante la obtención y posterior análisis de micro muestras sanguíneas.

En el caso del umbral anaeróbico, aunque existen métodos de determinación basados en concentraciones fijas de lactato sanguíneo (siendo 4 mmol/l el valor absoluto más comúnmente utilizado), esta aproximación no parece ser la más precisa, ya que se observan cambios considerables tanto entre individuos como entre modalidades de ejercicio, tal como se evidenció en las investigaciones de Jones et al., (2019) y de Vélez & García (2013).

Otro aspecto a considerar en cuanto a los umbrales, es que se ha observado de que algunos deportistas pueden sostener, durante pruebas de larga duración, ritmos de carrera con concentraciones de lactato superiores a la concentración alcanzada en el umbral de lactato aeróbico, hizo que surgiera el “máximo estado estable de lactato (MLSS, por sus siglas en inglés)”, considerado por autores tales como Faude et al., (2009) y Llodio (2016) como el indicador o prueba de referencia. Por tanto, el MLSS se puede definir como la más alta intensidad de ejercicio que puede ser mantenida durante un tiempo prolongado sin que aumente la concentración sanguínea de lactato de manera progresiva. (López & Fernández, 2023)

También es importante considerar que otro de los métodos más populares entre los investigadores, es el basado en el modelo trifásico de Skinner y McLellan (1980), para conocer las intensidades en las que tiene lugar la transición aeróbica-anaeróbica. Este método consiste en el análisis del comportamiento de la ventilación pulmonar, el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono durante un ejercicio incremental y es conocido como el método de los umbrales ventilatorios.

Cualquiera de los métodos anteriormente descritos junto a otros como la electromiografía de superficie, el análisis de saliva o el amonio en sangre son caros, invasivos o requieren de laboratorio para realizarse, dificultando con ello la práctica entre la población que podría beneficiarse de la estimación de los umbrales aeróbico y anaeróbico.

La complejidad de alguna de las pruebas, aunado a la disposición de recursos humanos, materiales (equipos costosos y altamente especializado) y temporales (pruebas como el MLSS) que requiere de varios días para llevarse a cabo, hacen que la valoración de la transición

aeróbica-anaeróbica no esté al alcance de cualquier entrenador o club deportivo. No obstante, como se ha mencionado anteriormente, sus aplicaciones son determinantes para la prescripción del ejercicio físico y en la planificación del entrenamiento deportivo. Por esta razón, en los últimos años han ido surgiendo estudios científicos que han tratado de buscar metodologías alternativas que permitan estimar los umbrales mediante protocolos menos exigentes y más accesibles para la mayoría de los profesionales del deporte.

Todo lo expuesto hasta aquí, nos lleva a plantearnos el siguiente **problema de investigación**: ¿qué métodos asequibles existen en la literatura científica para estimar los umbrales aeróbico y anaeróbico y cuáles de ellos son los más efectivos?

Para dar respuesta a la pregunta del problema de investigación, el **objetivo general** del presente trabajo consistió en desarrollar una revisión sistemática de la literatura científica que permita la identificación y comparación de la efectividad de los métodos asequibles para la estimación de los umbrales aeróbico y anaeróbico.

DESARROLLO

Con el fin de identificar los posibles estudios científicos que podrían formar parte de esta revisión sistemática, se llevó a cabo una búsqueda en las bases de datos de Ebsco, Pubmed y Google Scholar durante el mes de diciembre de 2023. Los términos clave utilizados para la búsqueda fueron “anaerobic threshold”, “ventilatory threshold”, “lactate threshold”, “maximal metabolic steady state”, “test”, “determination” y “estimate”. Se utilizaron diferentes combinaciones de los términos anteriores explorando en los campos de búsqueda de título, resumen y palabras clave. Además, se realizaron búsquedas manuales en las listas de referencia de los artículos y otras fuentes que pudieran tener información de utilidad para esta revisión.

Los criterios empleados para la selección de los artículos utilizados en esta revisión se basaron en los siguientes aspectos: ser investigaciones originales con diseño longitudinal o transversal, tener el texto completo disponible para descarga, estar publicado en inglés o español, haber transcurrido diez años o menos desde su fecha de publicación, incluir participantes humanos sanos, incluir comparaciones con alguna prueba referencial de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica (mediciones de lactato o equivalentes respiratorios), proponer o analizar alguna prueba asequible para estimar los umbrales e incluir coeficientes de correlación.

Se descartaron estudios con participantes con edades superiores a los 40 años, estudios que incluyeran animales como muestra estudiada o estudios en los que los sujetos participantes presentaran alguna patología. También se eliminaron aquellas investigaciones en las que para realizar las pruebas de estimación de los umbrales se requiriese de algún tipo de material o equipamiento costoso o de difícil acceso.

Se identificaron un total de 776 estudios potenciales para los fines de esta revisión. Después del proceso de filtrado, fueron 59 los artículos seleccionados para lectura a texto completo, incluyéndose finalmente 13, de los cuales se extrajeron las características de los participantes, el diseño del estudio y los procedimientos, la descripción de la intervención y los resultados de las correlaciones.

Tabla 1

Estudios incluidos en la revisión sistemática de la literatura científica.

| Referencia | Muestra | Protocolo | Contraste | Resultados |
|--------------------------------|---|---|-----------------------------|--|
| Alajmi et al. (2020) | 20 adultos sanos (12 mujeres y 8 hombres) inactivos. Edad media: 28.3 ± 9.37 (mujeres) y 25.2 ± 7.9 (hombres) | - Test incremental en caminadora iniciando a 4.8 km/h con 0% de inclinación, incrementando la inclinación en 2.5%/2' - Talk test de 101 palabras con el mismo protocolo anterior - Registros de RPE - Test de Rockport | Talk test y RPE con VTs | Correlación entre el LP y el VT (r=0.76) y entre e EQ y el VT (r=0.77). Correlación entre RPE 13 y VT (r=0.74) y entre RPE 14 y VT (r=0.71). Sin diferencias significativas entre LP, EQ, RPE 13, RPE 14 y VT. |
| Balikian et al. (2022) | 8 atletas Edad media: 23 ± 3 años | - Pruebas de 400, 500 y 800m. La VC se calcula con la pendiente de la recta de regresión obtenida por los resultados. - Umbral anaeróbico (3.5 mmol/l) - Test de velocidad media en un esfuerzo continuo de 30'. | VC, V30, y Uan (3.5 mmol/l) | Correlación entre el Uan y la VC (r=0.84, p=0.008) y entre el Uan y la V30 (r=0.94, p=0.001). Sin diferencias significativas entre el Uan y la VC y entre el Uan y la V30. Existen diferencias significativas entre la VC y la V30 |
| Browne et al. (2015) | 25 corredores de media y larga distancia (18 varones y 7 mujeres) Edad media: 14.7 ± 1.2 años | - Pruebas de 3000 m y 1600 m a la máxima velocidad. La VC se calcula con la pendiente de la recta de regresión. - Test VLM: 500m a máxima velocidad seguidas de 6 x 800 m entre el 83 y el 98% de la vel. de la prueba de 3000m. | VC con VLM | VC se correlaciona con la VLM (r=0.63, p 0.004). No existen diferencias significativas entre ambas variables (p=0.305) |
| Fabre et al. (2013) | 13 varones y 8 mujeres físicamente activos. Edad media: 20.9 ± 5.9 años | - Test en cicloergómetro iniciando a 70W y con incrementos de 30W/3'. Mediciones de intercambio respiratorio, concentraciones de lactato y RPE. Para el ULa se utilizó el método Dmáx | RPE con ULa, VT, RCP | RPE se correlaciona significativamente con ULa (r=0.97), VT (r=0.95) y RCP (r=0.95). Sin diferencias significativas entre RPE y ULa. Diferencias significativas entre VT y RPE, y entre RCP y RPE. |
| Gillespie et al. (2015) | 12 ciclistas hombres | - Test en cicloergómetro con 60 W de inicio e incrementos de 30 | Talk test con VT | RPE y FC alcanzadas en el VT se correlacionan con RPE y FC en |

| | | | | |
|--|---|--|---|--|
| | altamente entrenados Edad media: 26.5 ± 4.6 años | W/min. Mediciones de umbrales ventilatorios. - Talk test con el mismo protocolo anterior. - Registros de RPE y FC. | | NEG del Talk test (r=0.89, r=0.93, respectivamente) |
| Giovanelli et al. (2020) | 15 corredores entrenados Edad media: 37.9 ± 10.9 años | - Test incremental comenzando al 70% de la velocidad de la mejor marca personal en 10000 m, con incrementos de 0.5km/h/1'. - Test Rabbit basado en RPE. - Se realizaron mediciones de FC e intercambio respiratorio | Test Rabbit con Uaer y Uan | Correlación entre el test Rabbit y del test incremental en Uaer y Uan (r ² =0.83 y 0.90, respectivamente). Sin embargo, existen diferencias significativas entre las velocidades del Uaer (p<0.001) y el Uan (p=0.008) |
| Kjertakov et al. (2016) | 12 corredores muy entrenados (11 hombres y 1 mujer). Edad media: 24.1 ± 3.9 años | -Test en caminadora. Inicio a 9 km/h e incrementos de 0.5 km/h/1'. Registros de FC para determinar el HRDP. (3 sujetos no presentaron HRDP) - Test en caminadora. Inicia a 9 km/h e incrementos de 1 km/h/4'. Registros de lactato para determinar el ULa | HRDP con ULa | Correlación significativa entre la FC en el ULa y el HRDP (r=0.84, p=0.005). Correlación no significativa entre la velocidad del ULa y la velocidad del HRDP (r=0.63, p=0.07). Sin diferencias significativas entre variables |
| Lopes Motoyama et al. (2014) | 14 varones no atletas Edad media: 23 ± 3.1 años | - Pruebas de 500 y 3000m. La VC se calcula con la pendiente de la recta de regresión. - 2-5 test de 30' a velocidad 5% inferior del umbral de glucosa. Cada test se incrementa en un 5% la velocidad hasta el MLSS. | VC y velocidad en prueba de 3000 m con MLSS | Correlación entre VC y MLSS (r=0.9). Sin embargo, existen diferencias significativas (p<0.05) entre VC y MLSS. Correlación entre V3000 y MLSS (r=0.91, p<0.01). Sin diferencias significativas entre V3000 y MLSS. |
| Madrid et al. (2016) | 11 hombres físicamente activos Edad media: 24.6 ± 4.7 años | - Tres pruebas de 3' en cicloergómetro. Intensidad en RPE 13 comparada con ULa y MLSS - Test de intensidad de lactato mínima: tras pedaleo hasta la extenuación y 8' de descanso, carga a 75W y se va incrementado en 25W/3'. - Protocolo de MLSS iniciando con la carga de la intensidad de lactato mínima. | RPE con intensidad de lactato mínima y con MLSS | Correlación entre RPE 13 e intensidad de lactato mínima (r=0.61, p<0.05). Correlación entre RPE 13 y MLSS (r=0.78, p<0.01). Sin diferencias significativas entre variables (p>0.05) |
| Pereira Guimaraes et al. (2018) | 17 corredores moderadamente entrenados Edad media: 34.36 ± 10.68 años | - 6 x 1000 m con 2' de recuperación. Inicio al 75% de la mejor marca en temporada y las siguientes con incrementos de 5% cada una. Se analizaron las concentraciones de lactato - Pruebas de 1500, 3000 y 5000 m a la máxima vel. VC entre las pruebas de 1500 y 5000 (VCa), y entre las de 3000 y 5000 (VCb). | 2 valores de VC con UAnI y ULa | Correlación entre Dmáx y VCa (r=0.60, p<0.01) y entre Dmáx y VCb (r=0.67, p<0.01). Correlación entre UAnI y VCa (r=0.49, p<0.05) y entre UAnI y VCb (r=0.51, p<0.05). Existen diferencias significativas (p=0.035) entre Dmáx y VCa. Los demás emparejamientos no muestran diferencias significativas. |
| Rodríguez Marroyo et al. (2013) | 18 ciclistas de élite varones Edad media: 20 ± 2 años | - Test en cicloergómetro. Inicio a 75W. Incrementos de 50W/2'. Mediciones de intercambio respiratorio y RPE (escala de Borg de 10 puntos) - Talk test de 38 palabras | Talk test con VTs | Carga en EQ se correlaciona con VT1 (r=0.86, p<0.001) Carga en NEG se correlaciona con VT2 (r=0.94, p<0.01) |
| Schroeder et al. (2017) | 6 hombres y 12 mujeres activos Edad media: 29.3 ± 17.97 | - Test en cicloergómetro. Inicio a 25W. Incrementos de 25W/2'. Mediciones de intercambio respiratorio. | Talk test (31, 62 y 93 palabras) | No existen diferencias significativas (p>0.05) entre el EQ del TT de 93 palabras y el VT1. No existen diferencias |

| | | | | |
|------------------------------|--|--|------------------|---|
| | años (hombres) y: 22.1 ± 1.56 años (mujeres) | - Tres Talk Test (31, 62 y 93 palabras) realizados en días diferentes. | con VT1 y VT2 | significativas (p>0.05) entre el NEG del TT de 93 palabras y el RCP |
| Vučetić et al. (2014) | 48 corredores de rango nacional (Croacia) Edad media: 21.7 ± 5.1 años | - Test en caminadora. Inicio: 3km/h. Incrementos: 1km/h/1'. - Test rápido inicio a 3 km/h. Incrementos de 1 km/h/30". - Mediciones de intercambio respiratorio y FC. | HRDP y VT2 | La FC en el VT se correlaciona con el HRDP tanto en el test estándar (r=0.83, p<0.01) como en el test rápido (r=0.88, p<0.01). Sin diferencias significativas entre ellas |

Leyenda: **Dmáx:** método para obtener el ULa consistente en buscar el punto más distante entre la regresión curvilínea de las concentraciones de lactato y la recta formada por la primera y última muestra, **EQ:** (equivocal) primer registro en el Talk Test en el que la respuesta a la pregunta ¿puedes hablar cómodamente? es no estoy seguro, **FC:** frecuencia cardiaca, **HRDP:** (heart rate deflection point) punto de deflexión de la FC, **LT:** (lactate threshold) umbral de lactato, **LP:** (last positive) último registro en el Talk Test en el que la respuesta a la pregunta ¿puedes hablar cómodamente? es positiva, **MLSS** (maximal lactate steady state) máximo estado estable de lactato, **NEG:** (negative) primer registro en el Talk Test en el que la respuesta a la pregunta ¿puedes hablar cómodamente? es no, **RCP:** (respiratory compensation point) punto de compensación respiratoria, **RPE:** percepción subjetiva del esfuerzo, **Uaer:** umbral aeróbico, **Uan:** umbral anaeróbico, **Uani:** umbral anaeróbico individual, **ULa:** umbral láctico, **V30:** velocidad media en prueba de 30 minutos, **VC:** velocidad crítica, **VLM:** velocidad de lactato mínima, **VT:** (ventilatory threshold) umbral ventilatorio

Con el fin de facilitar la comprensión de los datos recopilados y la posterior obtención de conclusiones potenciales, presentamos los resultados principales organizados por subgrupos.

Subgrupo de percepción subjetiva del esfuerzo

La percepción subjetiva del esfuerzo (RPE, por sus siglas en inglés) es un método bastante conocido para determinar, guiar y monitorear la intensidad del ejercicio. Permite expresar a los deportistas cómo se sienten en términos de esfuerzo en un determinado momento (Alajmi et al., 2020). Su evaluación consiste en escalas numéricas acompañadas por expresiones que abarcan desde extremadamente ligero a esfuerzo extremadamente duro, pasando por rangos intermedios. Las escalas comúnmente más utilizadas en la literatura científica son la escala de Borg CR10 (0-10 puntos) y la escala de Borg original (6-20 puntos). Ambas escalas se han correlacionado con medidas objetivas de la intensidad del ejercicio, como la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno.

Cuando la intensidad del ejercicio se asoció a un valor de esfuerzo de 13 en la escala de Borg de 6-20, Madrid et al. (2016) reportaron correlaciones altas con la intensidad de lactato mínima (r = 0.61) y muy altas con el MLSS (r = 0.78). Alajmi et al. (2020) también observaron una correlación muy fuerte (r = 0.74) con el primer umbral ventilatorio.

A pesar de que no formó parte de los artículos filtrados para esta revisión sistemática, queremos destacar la investigación llevada a cabo por Scherr et al. (2012) con más de 2500 sujetos en las

que se concluyó que los valores de RPE correspondientes al umbral láctico fueron, en promedio, de 10.8 ± 1.8 en la escala de Borg de 6-20. Mediante una propuesta alternativa, usando la metodología Dmáx sobre una escala de Borg de 100 puntos, Fabre et al. (2013) mostraron que la RPE puede ser una alternativa válida para estimar el umbral láctico. No obstante, esta metodología difirió significativamente al compararse con los dos umbrales ventilatorios.

Subgrupo Talk test

El Talk test o test del habla es una prueba de ejercicio incremental cuya premisa es que, en el ejercicio a intensidad igual o superior al umbral ventilatorio o umbral láctico, mantener una conversación se vuelve incómodo. Para llevarlo a cabo, los sujetos deben recitar en voz alta un texto (normalmente un pasaje conocido o uno con el que se hayan familiarizado previamente) durante los últimos 30 segundos de cada etapa. Al finalizar la lectura, se le pregunta al sujeto si ha podido hablar cómodamente con tres respuestas posibles: *sí*, *no estoy seguro* o *no*, momento en el que se daría por finalizada la prueba.

De todas las intensidades de ejercicio a las que el sujeto evaluado conteste afirmativamente a la pregunta, la que adquiere mayor relevancia es la más alta, identificada como *last positive* (última positiva) o LP. La menor intensidad en la que se conteste *no estoy seguro* se identifica como respuesta equívoca (*equivocal*) o EQ. Finalmente, la intensidad en la que se responda negativamente se conoce como *negative* (negativa) o NEG. (Schroeder et al., 2017)

Con datos uniformes, las correlaciones aportadas por las investigaciones que examinaron el Talk Test oscilan entre muy altas y casi perfectas ($0.76 \leq r \leq 0.93$). Las comparaciones realizadas no fueron estadísticamente diferentes entre la respuesta EQ del Talk Test y el primer umbral ventilatorio (Alajmi et al., 2020; Rodríguez-Marroyo et al., 2013; Schroeder et al., 2017) y entre la respuesta NEG y el segundo umbral ventilatorio (Gillespie et al., 2015; Rodríguez-Marroyo et al., 2013; Schroeder et al., 2017). Estos datos coinciden con las conclusiones aportadas por Reed & Pipe (2014) en una revisión realizada sobre este test, en la que también se correlacionan las cargas en EQ y NEG, con las del primer y segundo umbral, respectivamente.

El Talk Test se encuentra fundamentado en la complejidad de mantener una conversación cuando existe un incremento en el cociente entre la ventilación y el consumo de oxígeno, el método de contraste preferido es el de los umbrales ventilatorios. Esta tendencia se evidencia en las cuatro investigaciones incluidas en esta revisión sistemática que tratan sobre el Talk Test ya que ninguna

de ellas usa métodos basados en las concentraciones de lactato para comparar las medidas realizadas.

Al indagar sobre el Talk Test, a partir de los criterios de búsqueda establecidos en el presente trabajo, no se ha encontrado una publicación de los últimos 10 años que establezca una relación entre los umbrales determinados por mediciones de lactato con la prueba Talk Test, sin embargo, en el año 2011, Quinn & Coons emprendieron esta tarea y llevaron a cabo dicha comparación, revelando que no existieron diferencias significativas entre ambos parámetros. Una particularidad de este test es que los pasajes que se utilizan para su lectura no siempre son de la misma cantidad de palabras.

Por otra parte, Schroeder et al. (2017) compararon tres extensiones de texto diferentes (31, 62 y 93 palabras), y llegaron a la conclusión que el texto más largo permite una mejor precisión en la estimación de los umbrales ventilatorios. En el mismo sentido, Foster et al. (2018) abogan por utilizar pasajes más largos (aproximadamente 100 palabras) para estar más acertados en la estimación.

Subgrupo de velocidad crítica

Derivada del concepto de potencia crítica, la velocidad crítica se define, según Browne et al. (2015), como la más alta intensidad de ejercicio que podría ser mantenida por un largo periodo de tiempo sin agotamiento. Este concepto se corresponde con la intensidad límite que puede ser tolerada en la que existe un estado estable en el consumo de oxígeno y las concentraciones de lactato (Pereira-Guimaraes et al., 2018). Superar esta velocidad, implicaría que se redujera significativamente el tiempo de extenuación.

Aunque existen otros métodos para hallar la velocidad crítica, como la asíntota de la relación velocidad/tiempo de agotamiento planteada por Llodio (2016), las publicaciones abordadas en esta revisión se decantan por un enfoque en el cual los participantes deben recorrer varias distancias predefinidas en el menor tiempo posible, con un tiempo de recuperación suficiente entre ellas. Dependiendo del protocolo seleccionado, se realizarán un mínimo de dos pruebas, y los resultados obtenidos se utilizarán para trazar una recta de regresión lineal que correlacione la distancia con el tiempo. La pendiente resultante de esta regresión proporciona la velocidad crítica, según Pereira-Guimaraes et al. (2017).

El rango de distancias empleadas en los artículos incluidos en la revisión realizada abarca desde los 400 hasta los 5000 metros. Para calcular las velocidades críticas, tres artículos utilizan dos distancias diferentes (Browne et al., 2015; Lopes et al., 2014; Pereira-Guimaraes et al., 2018) y uno utilizó una tercera carrera entre sus pruebas (Balikian et al., 2022). Aunque en la metodología empleada por Pereira-Guimaraes et al. (2018) los sujetos participantes recorren tres distancias, al obtenerse dos valores diferentes de velocidades críticas en esta investigación, sólo ocupan dos resultados para cada una de ellas.

La velocidad crítica ha sido empleada para buscar comparaciones con el primer umbral, revelando correlaciones que van desde moderadas hasta altas ($r = 0.49 - 0.67$); asimismo, se han observado correlaciones entre altas y muy altas ($r = 0.63 - 0.84$) cuando se compara con el segundo umbral. En contraste, dos casos han reportado diferencias significativas entre los datos arrojados por esta prueba y la transición aeróbica-anaeróbica (Lopes et al., 2014; Pereira-Guimaraes et al., 2018). Una posible explicación a estas pequeñas discrepancias es que cuando las distancias empleadas en las pruebas de velocidad crítica son menores, existe una tendencia más pronunciada a la sobrestimación del umbral anaeróbico (Llodio, 2016; Pereira-Guimaraes et al., 2017).

Subgrupo de punto de deflexión de la frecuencia cardíaca

En 1982, Conconi et al. desarrollaron una prueba en la que los sujetos experimentales debían completar una carrera en pista con incrementos en la velocidad de 0.5 km/h cada 200 metros. Los autores descubrieron un aumento lineal de la frecuencia cardíaca a velocidades submáximas y una zona de aplanamiento en las intensidades cercanas al máximo. En otras palabras, durante un test incremental, la frecuencia cardíaca aumenta conforme se intensifica la actividad.

No obstante, durante un test incremental, llega un punto en el que, al alcanzar cierta intensidad, la frecuencia cardíaca deja de aumentar en la misma proporción y comienza a hacerlo de una manera más moderada. Conconi et al. (1982), sugirieron que este punto de cambio de comportamiento en la linealidad de la frecuencia cardíaca coincidía con la intensidad del umbral anaeróbico.

El punto de deflexión de la frecuencia cardíaca o HRDP (por sus siglas en inglés), se ha identificado como aquella intensidad donde los valores de la pendiente lineal comienzan a disminuir y hay una pérdida evidente de la linealidad en el comportamiento de la frecuencia cardíaca. Najera-Longoria et al. (2017), plantean que, aunque la inspección visual puede ser un

buen método para determinar este punto de quiebre, los procedimientos matemáticos pueden ofrecer una mayor precisión.

Otra cuestión a considerar, según Llodio (2016), es que el momento en el que aparece el punto de depleción de la frecuencia cardíaca, depende del protocolo utilizado. Los artículos revisados apoyan esta idea, ya que una publicación relaciona el HRDP con el umbral aeróbico (Kjertakov et al., 2016) y otra hace lo propio con el anaeróbico (Vučetić et al., 2014). Las comparaciones realizadas entre el segundo umbral ventilatorio y el HRDP no mostraron diferencias significativas, presentando correlaciones muy altas en dos protocolos con diferentes grados de exigencia ($r = 0.83$ y 0.88). En el caso del primer umbral los resultados son ambiguos: cuando la FC del HRDP se compara con la FC del umbral láctico, se encuentra una correlación significativa muy alta ($r = 0.84$). Sin embargo, cuando la variable comparada fue la velocidad a la que se alcanzan estos puntos, la correlación se reduce ($r = 0.63$) y deja de ser significativa. Un punto a destacar de esta metodología es que el HRDP no se presenta en todos los sujetos y parece depender del protocolo empleado.

Aunque Vučetić et al. (2014) no parecen tener este inconveniente en sus 48 sujetos estudiados, Kjertakov et al. (2016) mencionan que tres de los doce sujetos no presentaron HRDP. Varias son las fuentes bibliográficas que han reportado ya desde hace algunos años la no aparición del HRDP en todos los sujetos (Bodner & Rhodes, 2000; Sentija et al., 2007; Van Schuylenbergh et al., 2004).

Subgrupo de Test RABIT

El *Running Advisor Running Training* (RABIT) es una prueba de carrera desarrollada por el Instituto de Entrenamiento Billat de París, basándose en los conceptos de umbral aeróbico y umbral anaeróbico. Consiste en cuatro fases de carrera a unos ritmos basados en la percepción subjetiva del esfuerzo de los participantes.

La primera fase implica diez minutos de calentamiento a una velocidad libre, la segunda consiste en cinco minutos a un ritmo medio ($RPE = 13$), la tercera son tres minutos a un ritmo intenso ($RPE = 15$) y la última fase comprende diez minutos a un ritmo fácil ($RPE = 11$). Entre cada fase, los participantes cuentan con un minuto de recuperación pasiva. El cuarto segmento (ritmo fácil) se compara con el umbral aeróbico y el segundo segmento (ritmo medio) con el umbral anaeróbico, tal como describen Giovanelli et al. (2020).

Los resultados constatados por Giovanelli et al. (2020) a través de su propuesta con 15 sujetos entrenados, manifiestan que el test Rabbit no constituye una alternativa válida para estimar los umbrales. A pesar de que presentan correlaciones casi perfectas con ambos umbrales, las diferencias significativas reportadas en las comparaciones de grupo sugieren que se trata de variables distintas.

CONCLUSIONES

La determinación de la transición aeróbica-anaeróbica juega un papel clave en el rendimiento deportivo, pero muchas de las pruebas existentes para su valoración son inaccesibles para una gran parte de la población de atletas. Afortunadamente, con el paso de los años han ido surgiendo alternativas de fácil acceso. En esta revisión, se indagó en la literatura científica las diferentes opciones disponibles y nos hemos encontrado con alternativas como la percepción subjetiva del esfuerzo, el Talk test, la velocidad crítica o el punto de la deflexión de la frecuencia cardíaca, los cuales han demostrado ser alternativas válidas para la estimación de los umbrales, aunque no están exentos de debilidades.

El HRDP parece que no tiene lugar en todos los sujetos ni protocolos empleados. Por tanto, el Talk test como la RPE han demostrado ser herramientas prácticas, válidas y accesibles para estimar los umbrales aeróbico y anaeróbico. No obstante, al analizar los datos, concluimos que el Talk Test presenta resultados más consistentes en comparación con las otras alternativas, no mostrando diferencias significativas en ninguna de las comparaciones realizadas con los umbrales y, además, habiendo sido aplicado en sujetos no activos, entrenados y altamente entrenados.

REFERENCIAS

- Alajmi, R. A., Foster, C., Porcari, J. P., Radtke, K., & Doberstein, S. (2020). Comparison of non-maximal tests for estimating exercise capacity. *Kinesiology*, 52(1), 10–18. <https://doi.org/10.26582/k.52.1.2>
- Balikian, P., Marinho, A. H., Gomes De Araujo, G., Prado, E. S., Mendes, E. V., & Ryan Gerales, A. A. (2022). Anaerobic Threshold in Stand-up Paddle: Comparison Between Direct and Alternative Methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(7), 1896-1900. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003718>

- Bodner, M. E., & Rhodes, E. C. (2000). A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Medicine*, 30(1), 31-46. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00004>
- Browne, R. A. V., Sales, M. M., Da Costa Sotero, R., Asano, R. Y., De Moraes, J. F. V. N., De França Barros, J., Campbell, C. S. G., & Simões, H. G. (2015). Critical velocity estimates lactate minimum velocity in youth runners. *Motriz: Revista de Educação Física*, 21(1), 1-7. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742015000100001>
- Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, P. G., Droghetti, P., & Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, 52(4), 869-873. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.52.4.869>
- Fabre, N., Mouro, L., Zerbini, L., Pellegrini, B., Bortolan, L., & Schena, F. (2013). A Novel Approach for Lactate Threshold Assessment Based on RPE. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(3), 263–270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijspp.8.3.263>
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469–490. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>
- Fernández Rodríguez, E., Romero Ramos, O., Merino Marbán, R., & Cañas del Palacio, A. (2018). Umbral Anaeróbico. Problemas conceptuales y aplicaciones prácticas en deportes de resistencia (Anaerobic Threshold. Conceptual problems and practical applications in endurance sports). *Retos*, 36, 521–528. <https://doi.org/10.47197/retos.v36i36.61883>
- Foster, C., Porcari, J. P., Ault, S., Doro, K., Dubiel, J., Engen, M., Kolman, D., & Xiong, S. (2018). Exercise prescription when there is no exercise test: The talk test. *Kinesiología*, 50 (1), 33–48. <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/article/view/6349>
- Galán-Rioja, M. Á., González-Mohino, F., Poole, D. C., & González-Ravé, J. M. (2020). Relative Proximity of Critical Power and Metabolic/Ventilatory Thresholds: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 50(10), 1771-1783. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01314-8>
- Gillespie, B. D., McCormick, J. J., Mermier, C. M., & Gibson, A. L. (2015). Talk test as a practical method to estimate exercise intensity in highly trained competitive male cyclists. *Journal*

of *Strength and Conditioning Research*, 29(4), 894-898.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000711>

Giovanelli, N., Scaini, S., Billat, V., & Lazzer, S. (2020). A new field test to estimate the aerobic and anaerobic thresholds and maximum parameters. *European Journal of Sport Science*, 20(4), 437-443. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1640289>

Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>

Jones, A. M., Burnley, M., Black, M. I., Poole, D. C., & Vanhatalo, A. (2019). The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. *Physiological Reports*, 7(10). <https://doi.org/10.14814/phy2.14098>

Kjertakov, M., Dalip, M., Hristovski, R., & Epstein, Y. (2016). Prediction of lactate threshold using the modified Conconi test in distance runners. *Physiology international*, 103(2), 262–270. <https://doi.org/10.1556/036.103.2016.2.12>

Llodio Uribeetxebarria, I. (2016). Determinación de condición física de deportistas: diferencias entre futbolistas y determinación indirecta de la velocidad de máximo estado estable de lactato [Tesis de Doctorado. Universidad del País Vasco]. <https://ekoizpen-zientifikoa.ehu.eus/documentos/5ecb7f6a2999521315202b6c>

Lopes Motoyama, Y. Y., Pereira, P. E. de A. P., Esteves, G. de J., Duarte, J. M. P., Carrara, V. C. P., Mello, G., Azevedo, & Azevedo, P. H. S. M. de. (2014). Alternative methods for estimating maximum lactate steady state velocity in physically active young adults. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 16(4), 419–426. <https://doi.org/10.1590/1980-0037.2014v16n4p419>

López Chicharro, J., & Fernández Vaquero, A. (2023). *Fisiología del ejercicio (4a ed.)*. Médica Panamericana.

López Chicharro, J., & Vicente Campos, D. (2017). *Umbral láctico*. Médica Panamericana.

Madrid, B., Pires, F. O., Prestes, J., Vieira, D. C. L., Clark, T., Tiozzo, E., Lewis, J. E., Campbell, C. S. G., & Simoes, H. G. (2016). Estimation of the maximal lactate steady state intensity

- by the rating of perceived exertion. *Perceptual and Motor Skills*, 122(1), 136–149.
<https://doi.org/10.1177/0031512516631070>
- Moxnes, J. F., & Sandbakk, Ø. (2012). The kinetics of lactate production and removal during whole-body exercise. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 9(1), 7.
<https://doi.org/10.1186/1742-4682-9-7>
- Najera-Longoria, R., Ortiz, G., Lopez, A., Kandia-Lujan, R., Njunjez, E., Gutierrez, M., & Rajkovic, Z. (2017). Non spiographic or noninvasive methods to estimate anaerobic treshold. *Fizicka kultura*, 71(1), 55-62. <https://doi.org/10.5937/fizkul1701055n>
- Pereira-Guimaraes, M., Campos, Y., Almeida, P., Domínguez, R., Pussieldi, G., & Silva, S. (2018). Relationship between direct and indirect methods for determination of anaerobic running speed. 7, 7–15. <https://doi.org/10.30472/ijaep.v7i4.300>
- Pereira-Guimaraes, M., Hernández-Mosqueira, C. M., Fernandes-Filho, J., & Fernandes-da-Silva, S. (2017). Métodos de determinación de la velocidad crítica en corredores. *CienciaUAT*, 11(2), 46-53. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v11i2.821>
- Poole, D. C., Rossiter, H. B., Brooks, G. A., & Gladden, L. B. (2021). The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *The Journal of Physiology*, 599(3), 737–767.
<https://doi.org/10.1113/JP279963>
- Quinn, T. J., & Coons, B. A. (2011). The talk test and its relationship with the ventilatory and lactate thresholds. *Journal of Sports Sciences*, 29(11), 1175-1182.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.585165>
- Reed, J. L., & Pipe, A. L. (2014). The talk test: A useful tool for prescribing and monitoring exercise intensity. *Current Opinion in Cardiology*, 29(5), 475-480.
<https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000097>
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Villa, J. G., García-López, J., & Foster, C. (2013). Relationship between the talk test and ventilatory thresholds in well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(7), 1942–1949.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182736af3>

- Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2012). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 147-155. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>
- Schroeder, M. M., Foster, C., Porcari, J. P., & Mikat, R. P. (2017). Effects of speech passage length on accuracy of predicting metabolic thresholds using the talk test. *Kinesiology*, 49(1), 9-14. <https://doi.org/10.26582/k.49.1.14>
- Sentija, D., Vucetic, V., & Markovic, G. (2007). Validity of the modified conconi running test. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1006-1011. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965071>
- Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980). The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51(1), 234-248. <https://doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285>
- 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>
- Vélez Medina, M. A., & García González, O. (2013). El umbral anaeróbico como herramienta en el control del entrenamiento deportivo. *Revista Cubana de Medicina del Deporte y la Cultura Física*, 8(3). <https://revmedep.sld.cu/index.php/medep/article/view/232/249>
- Verkhoshansky, Y. (2007). The training system in middle distance running. *Sport Strength Training Methodology*, 3. <https://www.verkhoshansky.com/LinkClick.aspx?fileticket=4jXTqyX%2fSYw%3d&tabid=80&mid=426>
- Vučetić, V., Šentija, D., Sporiš, G., Trajković, N., & Milanović, Z. (2014). Comparison of ventilation threshold and heart rate deflection point in fast and standard treadmill test protocols. *Acta Clin Croat*, 53(2), 190–203. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25163235/>
- Wasserman, K., & McIlroy, M. B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The American Journal of Cardiology*, 14(6), 844–852. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(64\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0002-9149(64)90012-8)