

## Velocidad Aerobia Máxima y Tiempo límite: Importancia para entrenamiento en deportes de resistencia. Metodologías para su determinación

Maximum aerobic speed and time limit: importance for training in endurance sports. Determination methods

Yonael Díaz Gutiérrez<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0243-7914>

María Elena González Revuelta<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7019-6414>

<sup>1</sup>Instituto de Medicina del Deporte, Subdirección de Docencia e Investigación. La Habana, Cuba.

<sup>1\*</sup>Autor para la correspondencia: [yonadg83@gmail.com](mailto:yonadg83@gmail.com)

### RESUMEN

**Introducción:** la Velocidad Aerobia Máxima (VAM) y el Tiempo Límite (TLim), constituyen indicadores de gran importancia para la evaluación del rendimiento funcional aerobio y la conducción del entrenamiento en deportes de resistencia. **Objetivo:** compilar información acerca de la significación funcional y los métodos para la determinación de estos indicadores en atletas de resistencia. **Metodología:** se realizó la revisión y selección de artículos científicos que tratan sobre la temática, publicados a nivel nacional e internacional en los últimos treinta años. **Desarrollo:** se abordan los conceptos de Máximo consumo de oxígeno, Velocidad aerobia Máxima y Tiempo Límite, su significación funcional e importancia para la conducción del entrenamiento en deportes de resistencia, así como los principales métodos de terreno y laboratorio que han sido utilizados para su determinación. **Resultados:** se destaca la importancia de estos indicadores del rendimiento funcional aerobio para la conducción del entrenamiento en deportistas de resistencia. Las pruebas para su determinación pueden ser realizadas en el laboratorio o en el terreno. **Conclusiones:** se destaca la necesidad de un analizador de gases para su determinación en condiciones de laboratorio o en su defecto, cuando existen limitaciones en el uso de esta

tecnología, se enfatiza la importancia del diseño y utilización de métodos indirectos que permitan su estimación, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones de terreno.

**Palabras clave:** Velocidad aerobia máxima; Tiempo límite; velocidad en el MVO2.

## **ABSTRACT**

**Introduction:** the Maximum Aerobic Velocity (MAV) and the Limit Time (TLim) are indicators of great importance for the evaluation of the aerobic functional performance and the conduction of the training in resistance sports. **Objective** to summarize information about the functional significance and methods for the determination of these indicators in endurance athletes **Methodology:** the review and selection of scientific articles that deal with the subject, published nationally and internationally in the last thirty years, was carried out. **Development:** the concepts of Maximum oxygen consumption, Maximum aerobic speed and Time limit are addressed, their functional significance and importance for conducting training in resistance sports, as well as the main field and laboratory methods that have been used for their determination. **Results:** the importance of these indicators for conducting training in endurance athletes is highlighted. The tests can be carried out in the laboratory or on the ground. **Conclusions:** highlighting the need for a gas analyzer for its determination under laboratory conditions or, failing that, when there are limitations in the use of this technology, the importance of design and the use of indirect methods that allow its estimation, both under laboratory conditions and in field conditions

**Keywords:** Maximum aerobic speed; time limit; speed in the MVO2.

Recibido: 21/02/23

Aprobado: 20/03/23

## **INTRODUCCIÓN**

La panorámica mundial actual en relación a los resultados competitivos cada vez más elevados que se están obteniendo, ha determinado la necesidad de continuar profundizando en las bases científico metodológicas del entrenamiento y de esta forma contribuir a mantener a los deportistas cubanos ubicados en una posición élite a nivel internacional.

La evaluación sistemática del efecto del entrenamiento y su adecuación continua a las necesidades impuestas por los requerimientos competitivos, así como la obtención del perfil funcional, junto al análisis de las intensidades y volúmenes de trabajo, permite conocer las necesidades específicas de cada deportista, lo que, unido a la integración de la información con una estrategia adecuada, conduce a altos resultados<sup>1</sup>.

Resultan por lo tanto indispensables en este sentido, las investigaciones que permitan, no solo la caracterización morfofuncional de los deportistas; sino también, elevar la calidad del diagnóstico funcional del rendimiento y con ello contribuir a incrementar las posibilidades de éxito.

Una planificación y realización adecuada de las pruebas de laboratorio y de terreno, así como el análisis periódico de los resultados que en ellas se obtengan, podrán brindar elementos de gran valor para efectuar un diagnóstico funcional óptimo del rendimiento de cada deportista, así como establecer las recomendaciones pertinentes al plan de entrenamiento, según las etapas del macrociclo en que se encuentren<sup>2</sup>.

Aun cuando ha sido bastante estudiado el Máximo consumo de oxígeno como el indicador tradicionalmente utilizado para evaluar la potencia aerobia máxima de los deportistas de resistencia, existen otros indicadores relacionados con el MVO<sub>2</sub>, que no han sido tan utilizados en este medio como parte del control del entrenamiento, a pesar de que resultan también de importancia, no solo para la caracterización aerobia de los deportistas de resistencia, sino también como indicadores que pueden ser utilizados en la conducción del entrenamiento en estos deportistas

Con la realización de este trabajo se persigue el objetivo de compilar la información acerca de la significación funcional y los métodos para la determinación de estos indicadores en atletas de resistencia; en particular, los conocimientos publicados en torno a la significación funcional de dos indicadores muy importantes, relacionados con el Máximo consumo de oxígeno (MVO<sub>2</sub>), que son la Velocidad Aerobia Máxima (VAM) y el Tiempo Límite (TLim), así como los métodos utilizados para su determinación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

A punto de partida de la identificación del objeto de estudio, se decidió acometer una investigación bibliográfica sobre el tema en cuestión. La búsqueda documental se realizó en el periodo de octubre a diciembre del 2022, la que consistió en una revisión descriptiva de

artículos publicados en internet durante los años 1980-2022, con ayuda del buscador *Google Académico*, y utilizando los siguientes descriptores: MVO2, VAM, velocidad en el MVO2 (vMVO2), TLim, test de terreno y test de laboratorio para determinación del MVO2 y de la VAM.

Una vez localizada la información se llevó a cabo una revisión y selección de los artículos más relevantes tanto a nivel nacional como internacional, para sintetizarla y reunirla en este trabajo y que pudiera ser utilizada como soporte científico para su aplicación en el control médico del entrenamiento, ya fuera para la realización de pruebas de esfuerzo dirigidas a la caracterización de la respuesta en el esfuerzo máximo de deportistas de resistencia, como para marcar pautas en la conducción del entrenamiento de estos deportistas. En la Figura 1 se resume la ruta de la investigación desarrollada.



**Figura 1.** Ruta de la investigación.

De la totalidad de artículos aportados por el buscador, en el periodo de tiempo antes señalado, se compendió un total de 45 títulos, bajo los siguientes criterios de selección: que todos los artículos estuvieran publicados en sitios de credibilidad científica, tales como libros de autores reconocidos, y artículos científicos publicados en revistas científicas nacionales e internacionales de alta visibilidad. Fueron incluidas entre los documentos seleccionados, dos tesis de la Maestría en Control Médico del Entrenamiento Deportivo, realizadas en el Instituto de Medicina Deportiva, por aportar también información de interés en relación a los descriptores utilizados. El 65 % de los documentos seleccionados correspondieron al periodo del 2000 al 2022. Los restantes constituyen documentos o artículos científicos que por su importancia no podían dejar de ser consultados para la

realización de esta investigación bibliográfica. La información se resumió siguiendo un orden lógico para propiciar la mejor comprensión por parte de los lectores interesados en la temática y que de esta forma los condujera a la identificación de los puntos fundamentales que debían conocer sobre el tema objeto de estudio de la investigación bibliográfica. Se perfilaron los aspectos más relevantes relacionados con la conceptualización, la significación funcional y las metodologías para la determinación de los indicadores del rendimiento aerobio, que constituyen la temática central de este trabajo; así como las pruebas de terreno y laboratorio más utilizadas para su determinación. Se destacó además la utilidad de estos indicadores tanto para la caracterización funcional, como para la orientación del entrenamiento en atletas de resistencia.

## **DESARROLLO**

Máximo consumo de oxígeno (MVO<sub>2</sub>), Velocidad Aerobia Máxima (VAM) y Tiempo Límite (TLim). Conceptos y significación funcional.

El rendimiento funcional aerobio anaerobio de los deportistas constituye una parte muy importante dentro del control médico del entrenamiento deportivo

Muy diversos son los objetivos que persigue la valoración funcional del rendimiento deportivo<sup>3</sup>, entre los más importantes podemos citar los siguientes:

- Tributar información para el control médico del entrenamiento deportivo.
- Valorar la aptitud física y detectar talentos deportivos.
- Determinar el nivel de los diferentes componentes metabólicos aerobios-anaerobios estableciendo indicadores integrales del rendimiento.
- Encontrar las velocidades (potencias) de carrera, nado, paletadas óptimas para desarrollar esos componentes.
- Determinar la capacidad de rendimiento máximo deportivo.
- Contribuir a que se realice una planificación adecuada de la preparación deportiva, así como una correcta utilización de los medios de entrenamiento.

Resulta extremadamente difícil, aislar uno u otro de estos objetivos para resaltar su importancia, por cuanto todos están estrechamente relacionados.

Es precisamente, como parte del Control Médico del Entrenamiento Deportivo, donde el diagnóstico funcional del rendimiento aerobio anaerobio ocupa una posición relevante.

El diagnóstico funcional del rendimiento de los deportistas representa una tarea compleja ya que en él influyen una gran cantidad de factores diferentes, entre los que las adaptaciones fisiológicas provocadas por el entrenamiento, solo son uno más.

El ejercicio físico puede considerarse como el conjunto de fenómenos mecánicos resultantes del funcionamiento del aparato locomotor; no obstante, para que éste se realice adecuadamente y con eficiencia se requiere la participación de todos los sistemas orgánicos, de una forma integrada<sup>4</sup>.

Resulta esencial en este sentido, el funcionamiento de los sistemas cardiovascular y respiratorio los que, al igual que el resto de los sistemas orgánicos, funcionan bajo una estricta regulación llevada a cabo por los sistemas nervioso y endocrino, los que a cada momento, tanto durante la realización de un ejercicio físico de forma aguda, como cuando la actividad física se realiza de forma sistemática, planificada y bien dosificada, provocan cambios en las respuestas orgánicas que garantizan la homeostasis ante una situación de estrés para el organismo como lo es el ejercicio<sup>4</sup>.

No menos importantes resultan los sistemas energéticos encargados de suministrar la energía requerida para la sustentación del ejercicio físico en dependencia de su intensidad y su duración<sup>5</sup>.

Por esa razón, la determinación periódica de algunos indicadores fisiológicos cardiovasculares, respiratorios así como metabólicos resultan esenciales, por la información que pueden brindar al médico y al entrenador, como parte del control médico del entrenamiento; son muy utilizados entre ellos, los cambios que sufren la frecuencia cardíaca, y las concentraciones sanguíneas de lactato, para la evaluación funcional del rendimiento de los deportistas durante ejercicios de intensidad creciente, debido a la relación de dichas variables con las cargas de trabajo y con el consumo máximo de oxígeno<sup>6,7</sup>.

El análisis que se puede efectuar de los cambios que sufren estas variables e indicadores como resultado de las adaptaciones fisiológicas provocadas por el entrenamiento constituyen un elemento de gran valor para la evaluación de los planes de entrenamiento, así como para el establecimiento de pronósticos deportivos<sup>8,9</sup>.

Si bien es cierto que la información relacionada con los procesos adaptativos es muy necesaria para evaluar el impacto que están provocando las cargas de entrenamiento, así como para la dosificación de éstas, la determinación de indicadores fisiológicos durante el esfuerzo máximo también resulta de interés, principalmente en el deporte de Alto

Rendimiento, por cuanto permite evaluar la magnitud de la respuesta fisiológica del sujeto de forma aguda durante un ejercicio intenso, cuando todos los sistemas orgánicos son desplazados, muchas veces, hasta el máximo de sus posibilidades funcionales, para garantizar en estas condiciones la homeostasis. Tal información puede también ser utilizada para el Control Médico del Entrenamiento, ya sea con fines preventivos, cuando impide que las cargas aplicadas excedan el nivel de tolerancia fisiológica del deportista, o también en ocasiones, con fines pronósticos.

Diversas son las variables e indicadores funcionales que pueden ser medidos en el esfuerzo máximo, y que brindan al Control Médico del Entrenamiento, información tanto desde el punto de vista del desempeño físico, como desde el punto de vista cardiovascular y respiratorio. Entre ellos se distingue la frecuencia cardíaca máxima (FC máx) como un indicador de la intensidad del trabajo realizado, así como el porcentaje de la FC máx, alcanzada durante la prueba, como indicador del esfuerzo desplegado; simultáneamente, se registra el MVO<sub>2</sub> (absoluto y relativo al peso corporal) como indicadores de la potencia aerobia máxima (PAM).

El MVO<sub>2</sub> refleja la capacidad del organismo para absorber y transportar oxígeno, a la vez que la capacidad del músculo para utilizarlo<sup>10</sup>.

Sus valores dependen en una gran medida de factores genéticos (70 %), aunque también el entrenamiento puede modificar la PAM alrededor de un 20 %, sobre todo en sujetos jóvenes que no han llegado a la etapa culminante de su rendimiento deportivo<sup>11,12</sup>, e incluso dependiendo de sus niveles previos de entrenamiento y por tanto de las adaptaciones sufridas en el sistema cardiopulmonar, así como en los componentes de transporte (número de glóbulos rojos y concentración hemoglobínica) y otros factores periféricos del sistema aerobio<sup>4,13</sup>.

Los valores de MVO<sub>2</sub> dependen también en gran medida del peso corporal de los sujetos y sobre todo de la masa corporal activa y los porcentajes de grasa que éstos presenten; del nivel de altitud geográfica<sup>14,15</sup>; del modo de ejercicio; de su intensidad y de la cantidad de masa muscular implicada, entre los factores más importantes.

El MVO<sub>2</sub> se determina durante las pruebas de esfuerzo, tanto en condiciones de terreno como en los laboratorios. Sus valores también pueden depender del tipo de ergómetro utilizado, y de la duración de los test de esfuerzo aplicados para el diagnóstico<sup>16</sup>.

El MVO<sub>2</sub> puede ser determinado de forma directa, para lo cual se requiere de un analizador de gases, equipo que resulta costoso por lo que no es un recurso disponible en muchos

laboratorios de ejercicio, o también puede ser estimado de forma indirecta a partir de ecuaciones de predicción, que pueden incluir diversas variables tales como el peso, la frecuencia cardíaca máxima, la edad y sexo de los sujetos, o la carga vencida durante la prueba, entre las variables más utilizadas.

Los valores de MVO<sub>2</sub> alcanzados en un test incremental progresivo y máximo, se consideran el *gold standard*, o patrón para medir el rendimiento del sistema cardiorrespiratorio, y se ha calificado tradicionalmente como el mejor parámetro de control para evaluar la evolución del entrenamiento en corredores de resistencia, ya que, el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub> máx) es uno de los parámetros más determinantes del rendimiento en este tipo de actividades.

Sin embargo, autores como Verkhoshansky, han manifestado que los cambios en el MVO<sub>2</sub>, conforme se van acercando las competiciones, no es realmente el mejor indicador. De hecho, existen datos de deportistas que, al mejorar sus registros en el período competitivo, disminuyen su VO<sub>2</sub> máx<sup>17</sup>. Esto podría explicarse por un aumento de la fuerza específica<sup>18</sup>, o por un incremento en la economía de carrera, que es un parámetro que influye en éste indicador<sup>19</sup>; incluso, debido a un mejor estado psicológico, para enfrentarse a esta tarea.

Por tal razón, más que utilizar el MVO<sub>2</sub> como parámetro a evaluar a lo largo de una temporada, podría resultar de mayor utilidad determinar la VAM.

-Velocidad Aerobia Máxima (VAM) y Tiempo Límite (TLim).

La Velocidad Aerobia Máxima (VAM) se refiere a un marcador que indica la velocidad mínima a la que un deportista alcanza su máximo consumo de oxígeno<sup>20</sup>. Es un parámetro que cobra especial importancia en deportes de resistencia. Dicho de otra forma, la VAM es la velocidad de carrera alcanzada por un atleta cuando su consumo de oxígeno es máximo. También ha sido conceptualizada como la máxima velocidad de desplazamiento que puede obtenerse mediante procesos aeróbicos<sup>21</sup>. Debe considerarse, por tanto, a la VAM como la velocidad que se obtiene en un test cuando se alcanza el VO<sub>2</sub> máx, que corresponde con la velocidad que se alcanza en el tramo final en los test progresivos.

La VAM puede estar comprendida entre 8 y 25 km/h; depende de factores genéticos y de otra parte, del nivel de entrenamiento del atleta<sup>22</sup>.

La VAM aumenta con el entrenamiento hasta el final de la pubertad y comienza a descender después de los 30 años. El periodo más favorable para su desarrollo se encuentra entre los 6 y los 22 años.



Muy relacionado a la VAM se define el Tiempo Límite (TLim), como el tiempo que el atleta puede mantenerse corriendo una vez que ha alcanzado la VAM, se puede correr al 100 % de la VAM durante un tiempo de 3 a 6 min<sup>23</sup>.

Conocer la VAM es indispensable para planificar el entrenamiento, ya que sirve al entrenador como velocidad de referencia para la planificación de un entrenamiento individualizado, permitiéndole establecer las velocidades del entrenamiento de una forma óptima durante el proceso de entrenamiento<sup>20,22</sup>.

Por esta razón se considera que la variable más utilizada para dosificar cargas de entrenamiento aeróbico, es la velocidad aeróbica máxima (VAM). En esto intervienen varias razones:

- el valor de MVO2 expresado en valores relativos y/o absolutos no permite que el entrenador dosifique cargas de trabajo para sus deportistas,
- dos sujetos pueden tener iguales MVO2 y diferentes VAM<sup>22, 24,25</sup>.
- la VAM correlaciona mejor que el MVO2 con el rendimiento deportivo<sup>22</sup>.

Por lo antes expuesto, se plantea que la VAM proporciona premisas excelentes sobre el potencial presente y futuro del corredor, debido a que el rendimiento en las carreras es directamente influenciado por ella.

Una vez conocida su importancia, la VAM se podrá emplear para el cálculo de porcentajes de trabajo, sobre esa cifra; así se desglosarán las diferentes zonas de intensidad. Para ello, según Tuimil y Rodríguez<sup>20</sup>, se pueden diferenciar tres zonas de carga:

- Eficiencia aeróbica: Esta se corresponde con una intensidad de entre el 65 % y el 85 % de la VAM, consiguiendo desarrollarse a través de la carrera continua larga, media o de corta duración, en dependencia del nivel de entrenamiento.
- Capacidad aeróbica: Se extiende desde el 85 % hasta el 100 % de la VAM. En este caso para potenciarla, recomiendan emplear un método interválico extensivo.
- Potencia aeróbica: Esta última hace referencia a intensidades superiores a la VAM, donde el esfuerzo es casi con toda seguridad, de carácter anaeróbico. Para el desarrollo de la potencia destacan el método interválico intensivo.

De forma general, todas las velocidades de entrenamiento se trabajan a un cierto porcentaje de la VAM.

Así, por ejemplo, estudios estadísticos<sup>26</sup> facilitaron el potencial medio máximo que pueden esperar alcanzar los atletas, después de un entrenamiento adecuado en carreras (5 km, 10 km, media maratón, maratón):

- 10 km, de 80 a 90 % de la VAM.
- Media maratón, de 75 a 85 % de la VAM.
- Maratón, de 70 a 80 % de la VAM.
- 100km al 60 a 65 % de la VAM.

Por debajo del límite de la VAM, el consumo de oxígeno crece con la intensidad del esfuerzo, cuando el mayor aporte de energía proviene del metabolismo aerobio. Más allá de la VAM, durante el tiempo que el atleta pueda mantenerse corriendo (TLim) el consumo de oxígeno queda constante y la potencia suplementaria es asegurada por el componente anaeróbico láctico. Por lo tanto, conocer a qué velocidad el deportista está utilizando al máximo su metabolismo aeróbico, es la principal razón por la cual entrenadores e investigadores consideran la VAM y el Tiempo Lim como parámetros fisiológicos de importancia, en el entrenamiento de deportistas de resistencia.

Aunque su determinación resulta esencial en aquellos deportes de predominio aerobio, no dejan de ser también de importancia estos parámetros en deportes aerobio anaerobio alternados, sobre todo cuando el objetivo pedagógico del entrenamiento está dirigido al desarrollo de la resistencia general de base

- Métodos para la determinación de la VAM y el TLim.

Debe tenerse en cuenta que el logro de las buenas marcas en las disciplinas del grupo metodológico de deportes de resistencia, así como la manifestación de óptimas cualidades físicas de estos deportistas, depende en gran parte de las posibilidades de los sistemas de formación de energía.

La productividad del sistema energético aeróbico suele ser caracterizada por diversos indicadores; según Bassett y Howley<sup>27</sup>, son precisamente el MVO<sub>2</sub>, la velocidad aeróbica máxima (VAM), el Tiempo límite o tiempo hasta el agotamiento, al 100 % de la VAM (TLim), descrito por Billat<sup>28,29</sup>, el Umbral del Lactato (UL) y la velocidad a que suele ser alcanzado el umbral de lactato (vUL), así como la economía de la carrera (EC), indicadores de suma importancia en los deportes de resistencia<sup>27,30</sup>.

En la literatura relacionada con el tema se han publicado diferentes protocolos para la determinación de la VAM, y el TLim<sup>31-34</sup>.

Los trabajos encaminados a la determinación de la VAM, y el TLim en deportistas de resistencia, comenzaron a hacerse frecuentes a nivel internacional desde la última década del siglo pasado, destacándose en este sentido las publicaciones de Billat<sup>20,28</sup>.

Se localizó un artículo publicado en Cuba, que informa sobre la correlación entre la máxima velocidad aeróbica y el tiempo proyectado en la carrera de 5 km; sin embargo, esta investigación no fue realizada en el país, sino con estudiantes de Cultura Física de Colombia<sup>35</sup>.

En el ámbito nacional solo se encontró, en la revisión realizada, el estudio sobre tiempo límite de mantenimiento de la potencia aerobia máxima en remeros del equipo nacional<sup>36</sup>. Los resultados de este trabajo evidenciaron la importancia de conocer este indicador en los remeros para conformar adecuadamente las tripulaciones y lograr buenos resultados competitivos.

La medición de la VAM puede obtenerse a través de test de laboratorio y test de campo. La mayor exactitud se encuentra durante una prueba de esfuerzo con un analizador de gases dentro del laboratorio que, aunque lo más idóneo, no siempre está al alcance de todos los deportistas ni entrenadores<sup>37</sup>.

Por este motivo se han ideado numerosos test de campo con suficiente precisión para poder emplear este parámetro dentro del proceso de entrenamiento.

Algunos de los test de terreno, más conocidos son:

- Test de Pista de la Universidad de Montreal (UMTT)<sup>38</sup>.
- Test VAM-EVAL<sup>39</sup>.
- Test de 5 minutos<sup>40</sup>.
- UNCa test<sup>41</sup> (Test de la Universidad Nacional de Catamarca).
- Test de Course Navette<sup>42,43</sup>.

Para elegir un test predictor de la VAM, no solo debe examinarse cuáles fueron diseñados con tal fin, sino también cuáles de estos ratificaron el valor de la VAM obtenida en el campo, con el de la VAM obtenida en una cinta rodante<sup>44</sup>.

García, Secchi y Arcuri<sup>45</sup> plantearon que solamente han podido hallar en la literatura dos test de campo que cumplen con estos requisitos: el test UMTT<sup>38</sup> y test VAM-EVAL<sup>39</sup>. Ambos test están ampliamente aceptados por entrenadores e investigadores. Además, comparten características similares: emiten señal sonora para marcar el ritmo de carrera, la velocidad se incrementa cada cierto tiempo, no contienen pausas y alcanzan la fatiga, es decir son test de máximo esfuerzo.

Estos autores<sup>45</sup> han planteado que deberá hablarse de VAM solamente cuando se emplea medición directa con un analizador de gases, y de velocidad máxima alcanzada (VMA) cuando se utiliza la velocidad de la última etapa completada, sin analizador de gases

El UMTT<sup>38</sup> es recomendado como uno de los mejores test predictivos del MVO<sub>2</sub> en campo<sup>45</sup> debido a su bajo error estándar de estimación (EEE: 2.8 ml/kg-1/min-1) y su alta correlación con el MVO<sub>2</sub> medido (r: entre 0.83 y 0.96). El protocolo del VAM-EVAL es una versión adaptada a partir del UMTT y el test Course Navette con etapas de 1 minuto.

En cuanto al Test de Course Navette<sup>42,43</sup>, aunque se trata de la prueba con mayor difusión dentro de los profesionales de las ciencias del ejercicio, tiene como objetivo predecir el consumo máximo de oxígeno y se trata de un protocolo de bajo costo, fácil aplicación y permite medir un buen número de deportistas al mismo tiempo. Pese a todo esto, este test subestima la VAM, debido a que el sujeto está obligado a frenar, girar y arrancar en dirección contraria, por lo que Cazorla y Leger<sup>44</sup> propusieron utilizar una tabla de corrección para estimar la VAM desde el mismo test.

En relación a la determinación del MVO<sub>2</sub> y de la VAM en condiciones de laboratorio, en la literatura pueden también encontrarse diferentes tipos de protocolos que son utilizados para tal fin.

Entre estos protocolos pueden citarse:

-Tets en cinta, de la Universidad Nacional de Catamarca<sup>41</sup>; además de la versión del test en condiciones de terreno, el mismo ha sido realizado en el laboratorio con el empleo de una estera rodante. En este test se utilizó un analizador de gases Sensor Medics Vmax, serie 29. La velocidad inicial del test en la cinta fue de 8.0 km/h-1, y la etapa duró 3 minutos. Luego se incrementó a 10.0 km/h-1, durante 2 minutos. Sin interrupción, a partir de aquí, la velocidad se incrementó a razón de 1 km/h-1 cada 1 minuto, hasta la fatiga. El objetivo de las primeras dos etapas, fue el de estandarizar una entrada en calor específica. Los criterios que se tuvieron en cuenta, para alcanzar el MVO<sub>2</sub> fueron: que no hubiese un aumento de 2.1 ml/kg-1/min-1, ante un nuevo aumento de carga y un cociente respiratorio igual o superior a 1.10.

-Test incremental para la determinación de umbrales de lactato, MVO<sub>2</sub> y VAM del Instituto Australiano del Deporte<sup>46</sup>.

Ese test consta de una parte submaximal, que es utilizada para medir la economía de la carrera, las respuestas de frecuencia cardiaca y lactato. La parte maximal de la prueba es utilizada para medir el MVO<sub>2</sub> y la velocidad asociada al MVO<sub>2</sub>.

Las primeras etapas de la parte submaximal del test se realizan con pendiente de 0 %. A continuación, la velocidad se va incrementando hasta una velocidad crítica donde los incrementos subsiguientes de la carga son logrados con el incremento de la pendiente.

Para los hombres la velocidad en la estera comienza en 4 km/h y se incrementa a razón de 0.5 km/h cada 30 seg hasta alcanzar la velocidad crítica. Después de 30 seg a la velocidad crítica la pendiente se incrementa 0.5 % cada 30 seg hasta el agotamiento.

-Uno de los test más utilizados para la determinación del MVO<sub>2</sub> y de la VAM es el diseñado por Billat<sup>33</sup>. El test fue diseñado para realizarse en estera rodante con analizador de gases, es una prueba con incremento de carga hasta el agotamiento. Fue aplicado en deportistas de medio y alto rendimiento.

El test comienza a 12 km/h con una pendiente de 0 %, que se incrementa en 2 km/h cada 3 min hasta que el corredor alcanza el 80 % de la mejor marca en 3000 m, y en un 1 km/h a partir de ese punto. La VAM es la menor velocidad de carrera que permite alcanzar un VO<sub>2</sub> igual al MVO<sub>2</sub>, o un VO<sub>2</sub> pico cuando no se observa una meseta en la gráfica. Los criterios utilizados para la determinación del MVO<sub>2</sub>, incluyen: una meseta en el VO<sub>2</sub> (incremento < 2.1 ml/kg/min) a pesar de un incremento en la velocidad de carrera de 1 km/h; un índice de intercambio respiratorio > 1.1; lactacidemia > 8 mmol/l; y una frecuencia cardíaca > 90 % de la frecuencia cardíaca máxima estimada.

En realidad los protocolos incrementales en el laboratorio de pruebas de esfuerzo son más escasos que los protocolos de campo, por la necesidad de utilizar un analizador de gases, que no siempre está disponible en todos los laboratorios.

De forma general, como se ha señalado con anterioridad, son protocolos escalonados en cinta rodante con escalones de 2 a 3 minutos, en los que se va incrementando progresivamente la velocidad de carrera hasta alcanzar el agotamiento.

La desventaja es que la cinta rodante a menudo no está bien calibrada, y de esta forma la velocidad durante la prueba, no es válida en la pista o en asfalto, por lo que este es un elemento a tener en cuenta antes de iniciar la prueba de laboratorio.

Aunque existen numerosos protocolos con el fin de determinar el MVO<sub>2</sub> en condiciones de laboratorio, no se ha encontrado ningún trabajo de este tipo realizado en condiciones de laboratorio, en el país, para poder determinar la Velocidad aerobia Máxima y el Tiempo límite en deportistas de resistencia, resultados que podrían ser utilizados como datos de referencia para programar el entrenamiento en dependencia de las capacidades o zonas funcionales que se requieran mejorar<sup>20</sup>.

Se requiere destacar la importancia de las pruebas directas con analizador de gases para la determinación de estos indicadores. Debe insistirse, no obstante, en que no siempre existe la disponibilidad de este recurso, de alto costo, así como por las limitaciones de su utilización

en muestras grandes de atletas, por el gasto de los insumos necesarios para su funcionamiento.

Por lo tanto, debe resaltarse la importancia que tiene el diseño de protocolos con la finalidad de evaluar la respuesta máxima durante el esfuerzo, sin la utilización del analizador de gases, en condiciones de laboratorio y que puedan ser utilizados como una vía alternativa para la caracterización funcional del rendimiento de los deportistas de resistencia, en relación a la VAM y el TLIM.

## **CONCLUSIONES**

La investigación bibliográfica ha sido dirigida a la búsqueda de la conceptualización, así como de la significación funcional de los indicadores del rendimiento aerobio MVO<sub>2</sub>, el VAM y el TLim, especialmente de los dos últimos que constituyen la temática central de este trabajo. Igualmente, se refirió a las pruebas de terreno y laboratorio más utilizadas para su determinación. Se subrayó además la utilidad de estos indicadores tanto para la caracterización funcional como para la orientación del entrenamiento en atletas de resistencia. Se destaca la necesidad de un analizador de gases para su determinación, en condiciones de laboratorio o en su defecto, cuando existen limitaciones en el uso de esta tecnología, se enfatiza la importancia del diseño y utilización de métodos indirectos que permitan su estimación, tanto en condiciones de laboratorio como de terreno.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1-Almenares Pujadas E. Evaluación Médico Pedagógica en deportes de Combate [tesis]. Ciudad de La Habana: IMD; 2000
- 2-González Revuelta ME. Diseño de una prueba de esfuerzo para la evaluación funcional del rendimiento en boxeadores cubanos de alto rendimiento [tesis]. Ciudad de La Habana: IMD;2002
- 3-Rodríguez FA, Aragonés MT. Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. En: González GJ, (Ed.) Fisiología de la Actividad Física y Deporte. Madrid: Interamericana Mc Graw Hill; 1992. p.237-274.
- 4-González Revuelta ME. Fisiología del ejercicio: Respuestas y Adaptaciones durante el ejercicio físico y el entrenamiento. La Habana: Editorial Deportes; 2018.

- 5-Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports Med 2001;31(10):725-41.
- 6-López Chicharro J, Calvo F, Fernández VA. Principios generales de la valoración ergométrica. En: López Chicharro J, Fernández VA (eds.) Fisiología del Ejercicio 2nd Ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1998.
- 7-Garrido R, González ML. Valoración cualitativa de la prueba de esfuerzo. Rev. Digital. Buenos Aires 2004;10(71) abril. <http://www.efdeportes.com>.
- 8-Blain G, Meste O, Bouchard T, Bermon S. Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory sinus arrhythmia. Br J Sports Med 2005;39:448-52.
- 9-Dwyer DB. A standard method for the determination of maximal aerobic power from breath-by-breath VO<sub>2</sub> data obtained during a continuous ramp test on a bicycle ergometer. Journal of Exercise Physiology. 2004;October:7(5). <http://www.asep.org/jeponline/JEPhome.php>.
- 10-Warren J E. “Consumo Máximo de Oxígeno: ¿Qué es? ¿Cómo se desarrolla?” PubliCE Standard. 2003 Nov; Pid: 212. <http://www.sobrentrenamiento.com/PubliCE/Home.asp>.
- 11-Terrero CJ, Fernández VA. Consumo de oxígeno, bases fisiológicas y aplicaciones. En: López J, Fernández VA (eds.) Fisiología del ejercicio. 2da ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1998.p. 247-256.
- 12-Swain D, Franklin B. VO<sub>2</sub> Reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. Med Sci Sports Exerc 2002;34:152-7.
- 13-Bassett JR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med Sci Sports Exerc 2000;32:70.
- 14-Bailey DM, Castell LM, Newsholme EA, Davies B. Continuous and intermittent exposure to the hypoxia of altitude: implications for glutamine metabolism and exercise performance. Br J Sports Med 2000;34:210-12.
- 15-Sharp C. Exercise at altitude. Br. J. Sports Med 2000 October;34(5):404- 6
- 16-Astorino TA, Rietschel JC, Tam P, Taylor K, Johnson SM, Freedman TP. Reinvestigation of optimal duration of VO<sub>2</sub>MAX testing. Journal of Exercise Physiology. 2004 Dec; 7(6) <http://www.asep.org/jeponline/JEPhome.php>
- 17-Verkhoshansky Y. Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo. Barcelona: Paidotribo. 2004.

- 18-Siff MC y Verkhoshansky Y. Superentrenamiento. Barcelona: Paidotribo.2004.
- 19-Basset DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(1):70-84.
- 20-Tuimil JL, Rodríguez FA. La velocidad aeróbica máxima de carrera. Concepto, evaluación y entrenamiento. *Revista de entrenamiento deportivo*. 2000;17(1):31-36.
- 21-Gutiérrez A. Apuntes de Fisiología del ejercicio, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Granada: Universidad de Granada. 2007. En: Domínguez HR. una propuesta práctica para utilizar la velocidad aeróbica máxima como medio de control del entrenamiento en corredores de resistencia. *EFDeportes, Revista Digital*. Buenos Aires. 2012 octubre;17(173). <http://www.efdeportes.com/>
- 22-Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Chatard JC, Arsac L, Barthélémy JC. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;62(2):77-82.
- 23-Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Times to exhaustion at 90,100 and 105 % of velocity at VO<sub>2</sub> max and critical speed in elite long distance runners. *The journal of metabolic diseases. Archives of physiology and biochemistry*.1995;103(2):129-35.
- 24-Millet GP, Candau R, Fattori P, Bignet F, Varray A. VO<sub>2</sub> responses to different intermittent runs at velocity associated with VO<sub>2</sub>max. *Can J Appl Physiol*. 2003; 28:410-23
- 25-Berthoin S, Gerbeaux M, Turpin E. Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *J Sports Sci*. 1994;12:355-62.
- 26-García Verdugo, M., Leibar, X. Entrenamiento de la resistencia de corredores de medio fondo y fondo. Madrid. Editorial Gymnos. 1997.
- 27-Basset DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:70.
- 28-Billat V, Bernard O, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Time to exhaustion at VO<sub>2</sub>max and lactate steady state velocity in sub elite long-distance runners. *Arch Int Physiol Biochem Biophys*. 1994;102:215-19.
- 29-Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Time to exhaustion at 100 % of velocity at VO<sub>2</sub>max and modeling of the time limit//velocity relationship. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*1994 ;69(3):271-3 doi: 10.1007/BF01094801



- 30-Billat V, Beillot J, Jan J, Rochcongar P, Carre F. Gender effect on the relationship of time limit at 100 % VO<sub>2</sub>max with other bioenergetic characteristics. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28(8):1049-55.
- 31-Pyne DB, Philo US. Protocolo de Test Incremental para la Determinación de Umbrales de Lactato, VO<sub>2</sub>max y vVO<sub>2</sub>max. Octubre de 2014. <https://g-se.com/protocolo-de-test-incremental-para-la-determinacion-de-umbrales-de-lactato-voo2max-y-vvo2max-bp-357cfb26f6f593>
- 32-López Chicharro R. Determinación de la VAM con protocolos continuos vs discontinuos. Mayo 2016. <https://www.fisiologiadelejercicio.com/determinacion-de-la-vam-con-protocolos-continuos-vs-discontinuos/#comments>
- 33-Billat V, Pinoteau J, Petit B. Reproducibility of running time to exhaustion at VO<sub>2</sub>max in sub-elite runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1994;26:254-257
- 34-Berthon P, Fellmann N. General review of maximal aerobic velocity measurement at laboratory. Proposition of a new simplified protocol for maximal aerobic velocity assessment. *J Sports Med Phys Fitness* 2002 Sep;42(3):257-66
- 35-Guío Gutiérrez F. Correlación entre la máxima velocidad aeróbica y el tiempo proyectado en la carrera de 5 km. *Revista Arrancada* 2022 septiembre-diciembre, 22(43).
- 36-Rives SY, Castillo LY, Jardinez GA. Tiempo límite de la potencia aerobia en remeros del equipo nacional. (*Rev.Cub.Med.Dep.&Cult.Fís.*), septiembre-diciembre 2021;16(3).
- 37-Misa J. Qué es la VAM? Artículo práctico. <https://mundoentrenamiento.com/que-es-la-vam>
- 38-Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the University de Montréal Track Test. *Can J Sport Sci.* 1980;5:77-84.
- 39-Wood R, VAMEVAL Run Test. Topend Sports Website, March 2019, <https://www.topendsports.com/testing/tests/vameval.htm>
- 40-Berthon P, Fellmann N, Bedu M, Beaune B, Dabonneville M, Coudert J, Chamoux A. A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *Eur J Appl Physiol.* 1997;75:233-8.
- 41-Cappa DF, García GC, Secchi JD, Meagan ME. Relation among the maximal aerobic speed of laboratory and the final reached speed in a test of field, with same protocols (UNCa Test). *Journal Medicine Sport and Physical Fitness.* 2012

- 42-Léger L, Lambert J. A maximal 20 m shuttle run test to predict VO<sub>2</sub> max. Eur. J. Appl. Physiol. 1982;49:1-12.
- 43-Léger L, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 meter shuttle run test for aerobic fitness. J Sports Sci. 1988;6(2):93-101.
- 44-Cazorla G, Léger L. Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Epreuves de course navette et épreuve Vam-éval. Ed. A.R.E.A.P. S. 1993.
- 45-García GC, Secchi JD, Arcuri CR. Comparación de las velocidades alcanzadas entre dos test de campo de similares características: VAM-EVAL y UMTT. Rev Andal Med Deporte, 2014 Sevilla jun, 7(2).
- 46-Pyne DB, Saunders PU. Test incremental para la determinación de umbrales de lactato, VO<sub>2</sub> MAX y Vvo<sub>2</sub>max del Instituto Australiano del Deporte. [https://entrenamiento-optimo.com/dt\\_team/facundo-ahumada/](https://entrenamiento-optimo.com/dt_team/facundo-ahumada/)

### **Declaración de Autoría**

Yonael Díaz Gutiérrez: aportes a la idea y al diseño del estudio, participó en la búsqueda bibliográfica y en su análisis e interpretación, redacción del manuscrito.

María Elena González Revuelta: realizó aportes sustanciales a la idea, al diseño del estudio y al análisis e interpretación de las fuentes; participó en la búsqueda bibliográfica, redacción final y la revisión crítica del contenido intelectual.

### **Declaración de Conflicto de Interés**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.