



Rev. Cub. Med. Dep. & Cul. Fís. 2014; Vol. 9, Núm. 3

ISSN: 1728-922X

Artículo original

Pruebas de terreno para la evaluación de la resistencia aerobia (uman): una revisión.

Testing ground for the evaluation of aerobic endurance (uman) : a review.

DraC. María Elena González Revuelta, **MsC Aldo López Galarraga, ***MsC Antonio Rodríguez Leal, *Dr.Enrique Unzaga Pestano.**

* Especialista de Segundo Grado en Fisiología Normal y Patológica. Magister en Control Médico del Entrenamiento Deportivo. Profesora e investigadora Titular. Profesora Consultante. IMD. Email mariele@infomed.sld.cu

** Dr en Medicina, Especialista de Segundo Grado en Medicina del Deporte. Master en Control Médico del Entrenamiento Deportivo. Profesor Auxiliar y Consultante. Investigador Agregado

*** Dr en Medicina, Especialista de Segundo Grado en Medicina del Deporte. Master en Control Médico del Entrenamiento Deportivo. Profesor Asistente

**** Dr en Medicina, Especialista de Primer Grado en Medicina del Deporte.

RESUMEN

Se realizó una revisión bibliográfica relacionada con las pruebas de terreno más utilizadas para la evaluación del rendimiento funcional aerobio, específicamente de la resistencia aeróbica, (Umbral del lactato), resumiéndose en cada una de ellas, sus características más relevantes, así como sus ventajas o sus limitaciones, con la finalidad de incentivar su utilización y diversificar el pool de pruebas que se utilizan rutinariamente para el control médico del entrenamiento deportivo, lo que también propiciará a

más largo plazo la validación de éstas en la población deportiva cubana y con ello continuar incrementando la calidad del control médico del entrenamiento deportivo.

ABSTRACT

FIELD TESTS FOR EVALUATION OF THE AEROBIC ENDURANCE (ANAEROBIC THRESHOLD) : A REVIEW.

A literature review related to field trials but used for the assessment of functional aerobic performance specifically of aerobic endurance (AT), being summarized was conducted on each of them, their most relevant characteristics as well as their advantages and limitations, in order to encourage their use and diversify the pool of tests that are routinely used for medical supervision of sports training, which will also lead to more long-term validation of these in the sporting population Cuban and thereby continue to increase the quality of medical control of sports training.

INTRODUCCIÓN

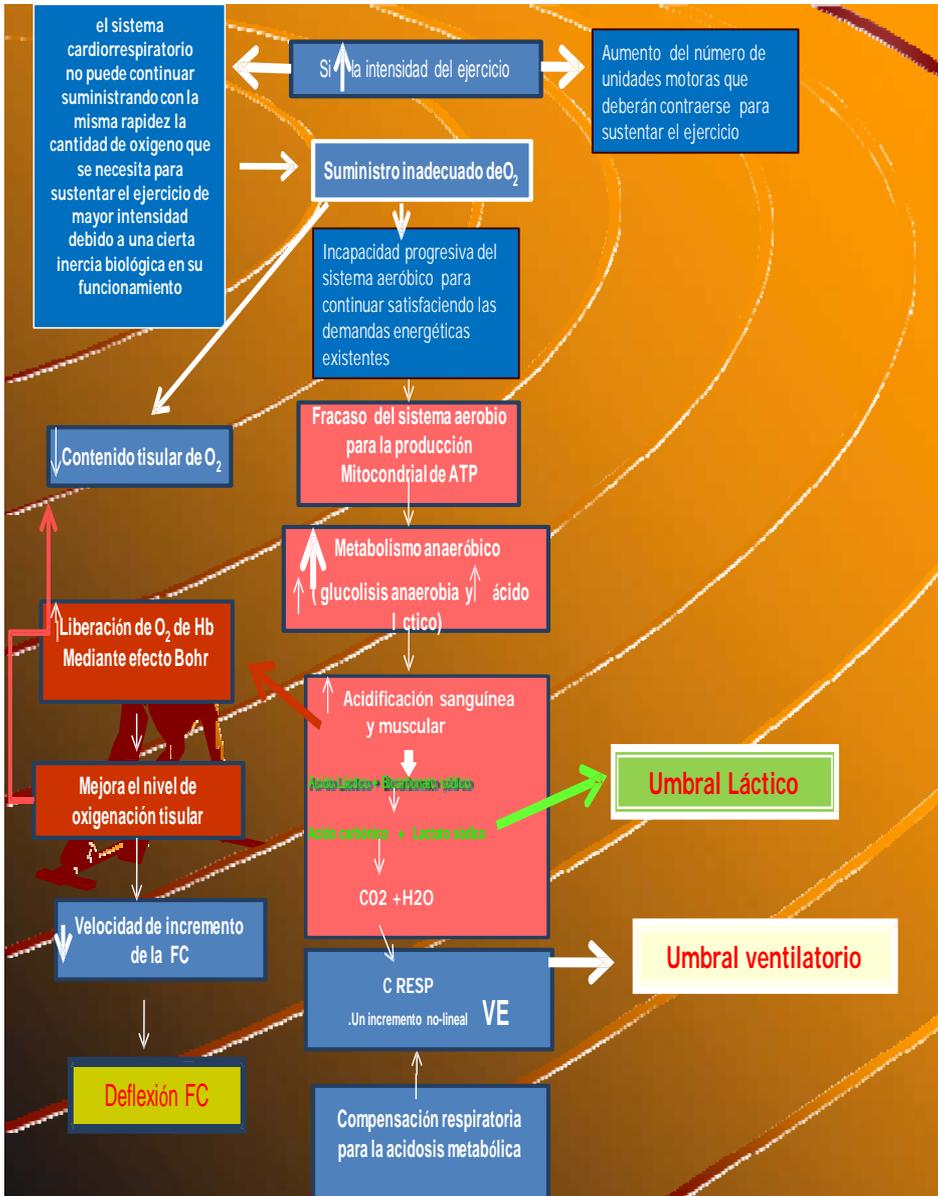
Las pruebas de terreno para la valoración de la resistencia aerobia y determinación del umbral anaeróbico (UAN) pueden ser de dos tipos fundamentales:

- Pruebas basadas en la relación FC-velocidad (no invasivas)
- Pruebas basadas en la relación lactato-velocidad (invasivas).

La popularización de los medios invasivos y no invasivos para medir el umbral anaeróbico ha estado influenciada por un paradigma teórico energicamente arraigado (Cuadro V) ¹. Esta base teórica proporcionó los cimientos a los cuales todas las aplicaciones prácticas para investigar el umbral anaeróbico recurren para una justificación final.

El contexto histórico dentro del cual se han desarrollado las mediciones no invasivas del umbral anaeróbico tales como la deflexión de la frecuencia cardiaca (HR_D) (Conconi et al., 1982²; Conconi et al., 1996 ³ ha servido para popularizar, y en cierta medida, validar el método.

Cuadro V. Representación diagramática del paradigma teórico subyacente al umbral anaeróbico¹. (Modificada por González R. ME)



Una base teórica correspondiente, usando un enfoque basado en sistemas complejos, ha sido sugerida como una alternativa viable al modelo del umbral anaeróbico ¹

A partir de la existencia de este modelo fisiológico que intenta explicar la aparición de los indicadores funcionales y metabólicos vinculados a la aparición del fenómeno umbral anaerobio se postuló la hipótesis de Hill-Meyerhof-Wasserman-Conconi, la que plantea que los umbrales de lactato en sangre, el aumento de la ventilación y la deflexión de la Fc coinciden temporalmente en el umbral ⁴

PRUEBA BASADA EN LA RELACIÓN FC-VELOCIDAD (TEST DE CONCONI Y COLS 1982)²

OBJETIVO: Determinación del Umbral anaeróbico (UAN)

Características: es una prueba progresiva en pista, máxima triangular, colectiva.

Aplicable a: carreras, marcha atlética, ciclismo, remo, piragüismo, esquí de fondo, patinaje, natación.

En el caso de la carrera: Consiste en cubrir la máxima distancia posible sobre una pista de 400 m a un ritmo creciente con una Velocidad Inicial promedio = 12 Km/h. (~ = 200 m en 60 seg.)

Se incrementa la velocidad cada 200 m de forma que el sujeto corra 2-3 seg.más rápido, pero tratando de que los incrementos de velocidades se correspondan con aumentos de FC de no más de 8 lat./min. En cada estadio de 200 m debe anotarse el tiempo empleado y la FC. La Velocidad media de cada estadio de 200m se calcula mediante la ecuación $V \text{ (Km/h)} = 720/t(\text{seg.})$. Con la Velocidad y la FC se confecciona una gráfica, para identificar mediante inspección visual ò cálculo de regresión el punto de deflexión en la velocidad de ascenso de la FC (HR_D)

El test termina cuando el sujeto ya no pueda continuar incrementando la velocidad de carrera

VENTAJAS

- ✦ Es un método indirecto para la determinación del UAN sin la utilización de lactato Su capacidad predictiva en carreras de larga distancia y maratón es alta ($r= 0.999$).
- ✦ El desplazamiento del punto de deflexión a la derecha es un indicador de la mejoría en la resistencia aeróbica.
- ✦ La extrapolación de la recta FC-Velocidad a los valores de FCMax permite el cálculo indirecto de la Velocidad aerobia media (VAM)
- ✦ La determinación de la velocidad de deflexión permite el cálculo de ritmos de entrenamiento alrededor de la intensidad teórica que corresponde a la transición aeróbica-anaeróbica.

Así por ejemplo se ha planteado que:

- ❖ Para mejorar la PAM, entrenar un 3 % por encima de la Velocidad Umbral.
- ❖ Para mejorar Capacidad Aeróbica, entrenar un 3% por debajo de la Velocidad Umbral.
- ❖ Para promover la recuperación entrenar a un 15% por debajo de la Velocidad Umbral.

Se ha señalado como inconveniencia del método la necesidad de mantener un control estricto de la FC durante toda la prueba.

En los últimos años se han publicado diversos trabajos que critican el método por la no presentación por Conconi y colaboradores hasta la fecha, de una investigación científica que demuestre la hipótesis metabólica promovida que explica la (HR_D).

Además Existen polémicas en relación con la fiabilidad de la prueba y la variabilidad inter e intra observador en relación al punto de deflexión, así como la no coincidencia de la deflexión con el umbral de lactato. Entre las principales críticas al Tets de Conconi aparecen las siguientes ⁴.

- ❖ La respuesta de la frecuencia cardiaca al ejercicio incremental varia en su forma entre los diferentes individuos incluyendo tanto patrones lineales como sigmoideos (Hofmann et al., 2005),
- ❖ La HR_D no siempre es identificable (Jones &Doust, 1997; Carey et al., 2002) o está totalmente ausente (Kuipers et al., 1988),
- ❖ La HR_D no es segura (Jones &Doust, 1995),
- ❖ No existe una razón fundamental para establecer un nexo entre el incremento súbito en la ventilación y las concentraciones de lactato en sangre con la meseta en el comportamiento de la frecuencia cardiaca (Bourgois et al., 2004),
- ❖ La HR_D es un artefacto del protocolo (Leger&Tokmakidis, 1988; Tokmakidis&Leger, 1989/1992; Jeukendrup et al., 1997; Achten&Jeukendrup, 2003),
- ❖ Existe una disociación entre la HR_D y el UAN (Tokmakidis&Leger, 1992; Jones &Doust, 1997; Vachon et al., 1999; Bourgois et al., 2004),
- ❖ En aquellos sujetos en que aparece la HR_D, la misma puede manifestarse a tasas o intensidades de trabajo bien por encima de un verdadero “punto de giro” del lactato, incrementando la probabilidad de un sobreentrenamiento

(Jones & Doust, 1997; Vachon et al., 1999; Bourgois et al., 2004),

- ❖ Existen diferencias significativas intra e interobservadores al seleccionar la HR_D (Carey et al., 2002),
- ❖ Existen diferencias significativas entre la HR_D por observación visual y la generada por la computadora (Carey et al., 2002),
- ❖ Un cuidadoso trabajo de laboratorio sugiere que para obtener una HR_D reproducible pudiera requerirse una erogación de trabajo progresivo y controlado de forma precisa y un análisis computarizado de la respuesta de la FC lo cual niega la supuesta facilidad con que pueden obtenerse los resultados durante pruebas de terreno con el método (Hofmann et al., 1994a),
- ❖ La HR_D no debe ser confundida con una representación del UAN sino más bien como una cuantificación de la intensidad del ejercicio (Brooks et al., 1996),
- ❖ El desempeño de resistencia es predicho de forma precisa con otras metodologías e índices que usan los mismos datos pero no dependen de las suposiciones de una HR_D (Tokmakidis & Leger, 1992; Petit et al., 1997).

Sin embargo si retomamos nuevamente el modelo fisiológico que intenta explicar el fenómeno umbral podemos plantear que la coincidencia de los umbrales de lactato, ventilatorio y la HR_D de acuerdo a lo planteado en la hipótesis de Hill-Meyerhof-Wasserman-Conconi,⁴ es más teórica que real, ya que en torno al fenómeno umbral se encuentran inmersos una serie de factores intrínsecos y extrínsecos que dependen de la individualidad de cada sujeto, como por ejemplo la condición

previa de aptitud física alcanzada por el sujeto , la intensidad del ejercicio que esta realizando, y la temperatura ambiental, entre las mas importantes, que pueden hacer aparecer algunos de estos indicadores antes que otros y no necesariamente de forma simultánea.

Por ejemplo en estudios realizados a pentatlonistas de elite, por la autora de este trabajo, aplicando un test incremental en estera hasta el agotamiento, y utilizando el análisis de gases como método para determinar el umbral anaerobio (uman), se comprobó que en ocasiones no se observa la HRd, a nivel del uman Fig 1 ó también que en los casos en que esta se observaba aparecía algunos minutos antes del uman. Fig 2

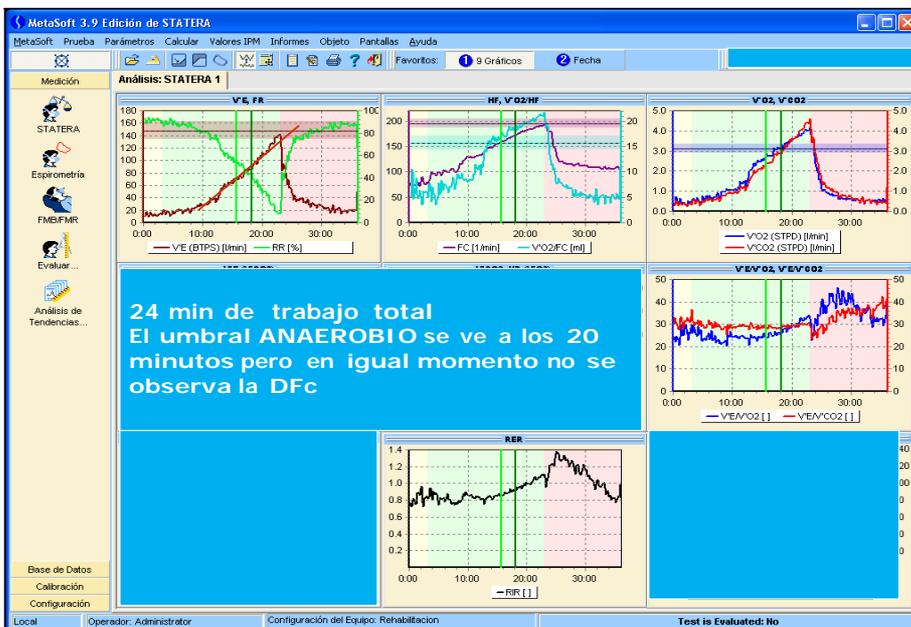


Fig 1. Test escalonado incremental hasta el agotamiento en pentatlonista donde no se visualiza la deflexión de la frecuencia cardíaca en el momento de arribo al umbral. Fuente datos del lab Pruebas de esfuerzo.

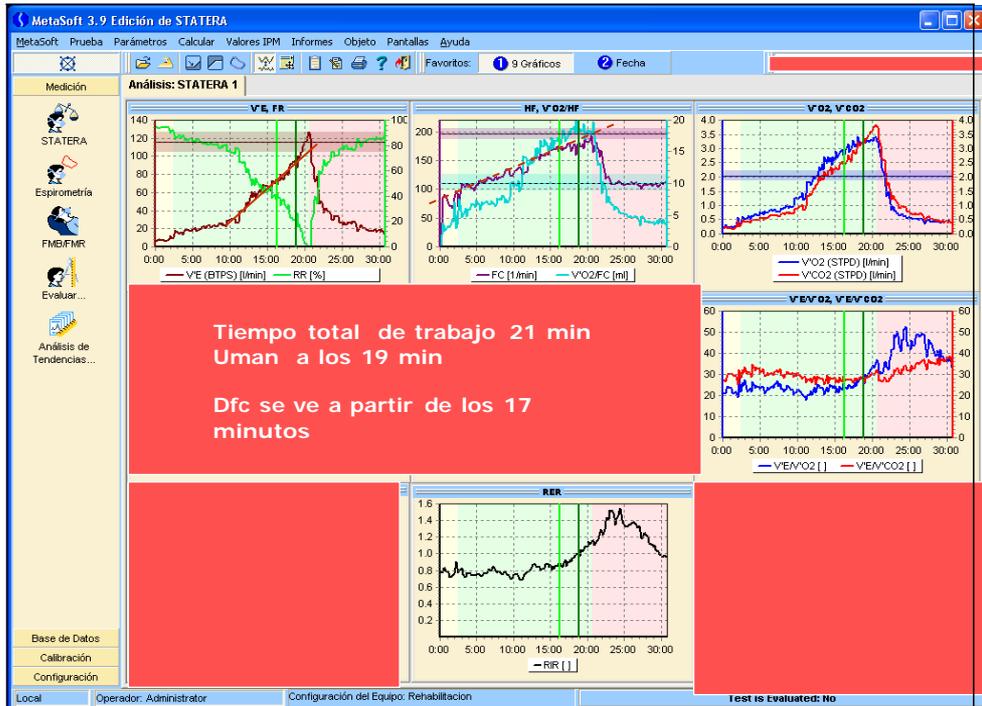


Fig 2. Test escalonado incremental hasta el agotamiento en pentatlonista donde se visualiza la deflexión de la frecuencia cardíaca 2 min. Antes del umbral. Fuente datos del lab Pruebas de esfuerzo.

Igualmente en otros estudios realizados en el laboratorio de pruebas de esfuerzo del IMD en deportistas que practican deportes predominantemente aerobios o de predominio metabólico mixto y a los cuales se les ha realizado un Test de Conconi en condiciones de laboratorio, con determinación de lactato, se ha observado que en la mayoría de los casos ,aunque la HRd y el umbral de lactato son fenomenos que aparecen muy cercanos en el tiempo sin embargo se ha visto una muy discreta anticipacion en la aparicion de la HRd en relación al umbral de lactato. Fig 3 y Fig 4

TRIATLÓN MASCULINO

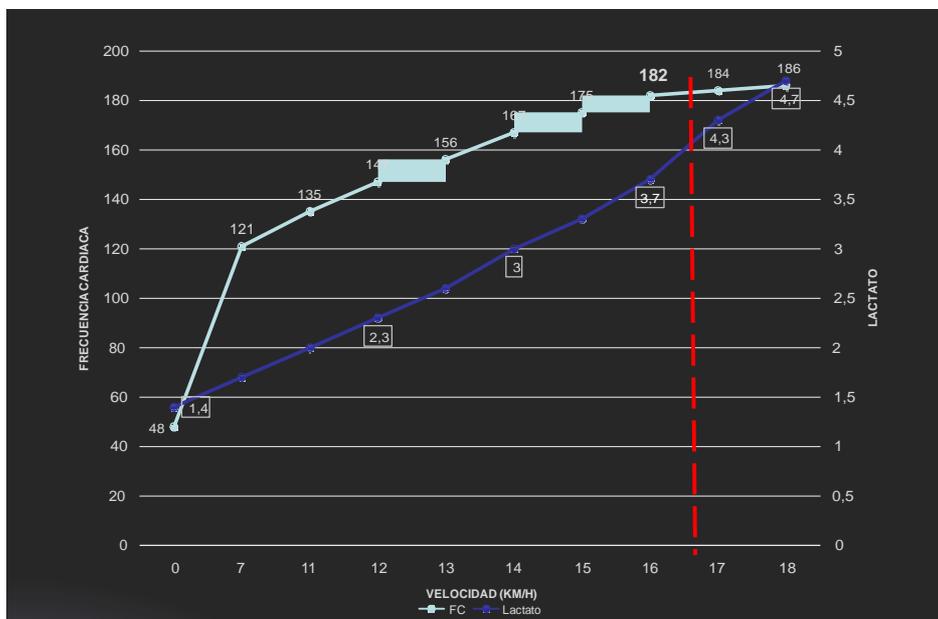


Fig. 3 Valores promedio de frecuencia cardíaca y lactato en sangre en un grupo de 4 triatlonistas masculinos sometidos a un test de Conconi en estera rodante. Fuente Datos del Laboratorio de pruebas de esfuerzo.

Obsérvese en el caso de los triatlonistas (Fig 3) que se alcanzaron los 4 mmol de lactato a una frecuencia cardíaca superior a los 182 lat por minutos y velocidad de carrera muy cercana a los 17 km/h mientras que la deflexión de la frecuencia cardíaca se observó a los 182 lat/min y a velocidad de carrera de 16 km/h

En la figura 4 se observa el comportamiento promedio de la frecuencia cardíaca y del lactato en sangre en un grupo de 6 jugadoras de balonmano. Obsérvese que los 4 mmol de lactato se alcanzaron a una frecuencia cardíaca de 170 lat/min y 15 km/h de velocidad de carrera mientras que la deflexión de la

Frecuencia cardiaca se manifestó a partir de las 166 lat/min y una velocidad de carrera de 14 km/h.

BALONMANO FEMENINO

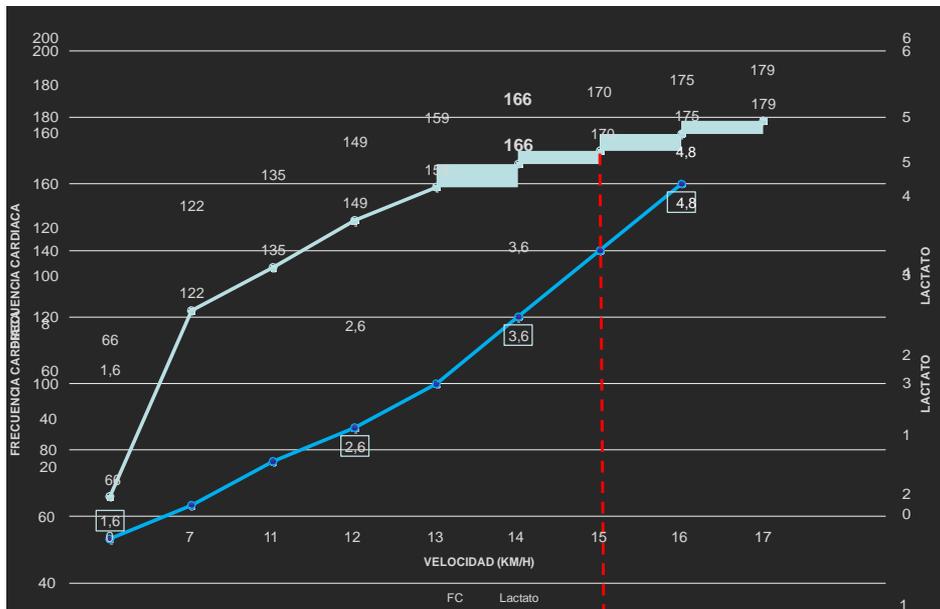


Fig 4 Valores promedio de frecuencia cardiaca y lactato en sangre en un grupo de 6 jugadoras de balonmano sometidas a un test de Conconi en estera rodante. Fuente Datos del Laboratorio de pruebas de esfuerzo.

De todo lo antes expuesto se deduce que no todas las críticas realizadas al test de Conconi, son del todo acertadas principalmente aquellas en las que la crítica se basa en el no cumplimiento de la hipótesis de Hill-Meyerhof-Wasserman-Conconi.

Algunas modificaciones han sido realizadas al test original, como por ejemplo, realizarlo en tramos de carreras de 100 m.

Velocidad Inicial para sujetos entrenados en medias y largas distancias 8-12 Km/h, en Velocistas 5-7 Km / h.

La adopción de cualquier prueba de evaluación del rendimiento debe estar precedida de reportes de una aceptable validez y confiabilidad que han sido coherentes entre laboratorios independientes. Este no ha sido el caso con el test de Conconi, que ha mostrado divergentes niveles de validez y confiabilidad entre los mismos, posiblemente por la diversidad de los diseños metodológicos utilizados para lograr este fin por lo que consideramos que deben continuarse realizando investigaciones metodológicamente bien controladas que aporten mas elementos sobre la utilidad práctica de este test, y su inclusión como parte de la batería de pruebas utilizadas para el Control Medico del entrenamiento deportivo.

PRUEBAS BASADAS EN LA RELACIÓN LACTATO-VELOCIDAD ⁵.

Están basadas en la relación existente entre el lactato sanguíneo y la velocidad de desplazamiento en la carrera, nado, marcha, ciclismo, es decir la **[La]= función (V)**

Se ha extendido el uso de un valor de referencia, en el cual la velocidad corresponde a una concentración sanguínea de lactato = 4 mmol/l.

Este criterio fue definido por Mader en 1976, quien demostró que la más alta carga de trabajo donde no hay una acumulación de la producción de lactato es aproximadamente equivalente a una concentración arterial de lactato de 4 mmol/l. ^{6,7}

Otros autores prefieren determinar el umbral de lactato individual que suele estar en el intervalo de 2 a 6 mmol/l aunque no existe unanimidad respecto al método que debe utilizarse para calcular dicho parámetro.

Durante los últimos 55 años la curva del lactato sanguíneo en función de la velocidad y los “umbrales” del lactato (ULs) han devenido en importante herramienta de diagnóstico del desempeño de resistencia.⁸ Sin embargo, en el transcurso de estos años se han desarrollado numerosos conceptos de UL que deben ser integrados dentro del marco de la llamada “transición aeróbico-anaeróbica” que con frecuencia es usada para el diagnóstico del rendimiento y la prescripción de la intensidad en los deportes de resistencia⁹. Fig 5

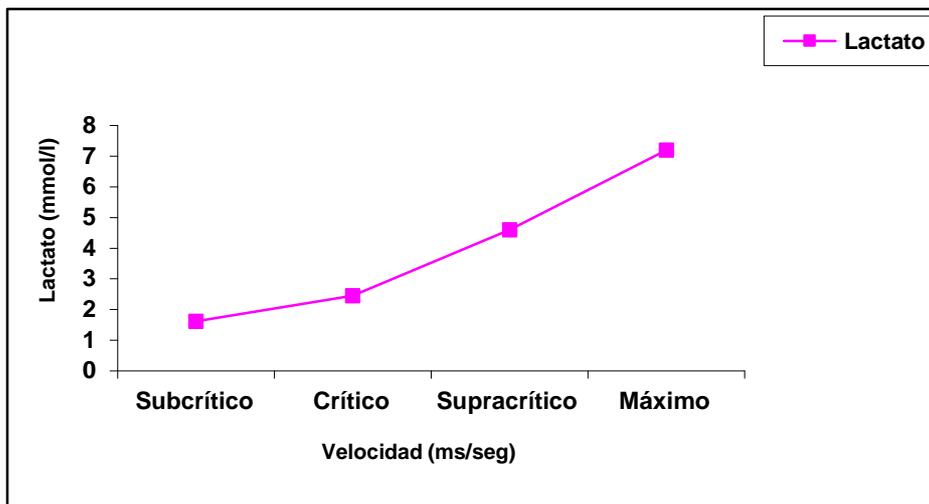


Fig. 5 Curva lactato-velocidad. Fuente Tomada de López Galarraga ¹⁰

El principio fundamental de la valoración de la resistencia aerobia con el uso de estas pruebas radica en la modificación que puede sufrir la relación lactato velocidad con el transcurso del entrenamiento aerobio, lo que expresa el nivel de eficiencia del metabolismo oxidativo

Las pruebas más utilizadas teniendo en cuenta la relación Lactato / Velocidad son las siguientes:

1) Pruebas de lactacidemia progresiva. Es una prueba progresiva, con escalones de carga de 3-6 min, con pausas cortas, triangular, máxima⁵.

El resultado es una curva LACTATO-VELOCIDAD, lo que permite determinar el umbral de lactato y la VAM

Es muy utilizada para establecer ritmos de entrenamiento.

Así por ejemplo;

Para entrenar la Recuperación <80% Vu

Para entrenar la Resistencia extensiva E/ 80-90 %Vu

Para entrenar la Potencia Aerobia 90-97% Vu

Para entrenar el Ritmo de Competencia 100% Vu

2) Pruebas de lactacidemia progresiva interválica (variante de la prueba de lactacidemia progresiva)⁵

Cada nivel de carga no consiste en una sola repetición sobre una distancia sino en una serie de 2 a 5 repeticiones. El lactato corresponde a un determinado número de repeticiones que se realizan a una velocidad media concreta.

Muy utilizado en deportes que utilizan el entrenamiento interválico
Por ejemplo en la natación.

También son muy útiles para reproducir las circunstancias metabólicas reales de los entrenamientos y así evitar posibles errores con la aparición del llamado lactato precoz que se produce al inicio de una serie de repeticiones y que es metabolizado al aumentar la tasa metabólica oxidativa en series sucesivas

Ejemplo TEST DE FARAGGIANA (5-6X2000) de preferencia en Fondistas ¹⁰

✦ 1er tramo de 2000 ----6 min

Pausa 30-50 seg hasta 1 min para toma de lactato

✦ 2do tramo 2000 -----de 5 a 7 seg mas rapido

Asi hasta completar 6 tramos

Se debe llevar control estricto de la velocidad cada 400 m.

En marchistas pausas de 3 min. En maratonistas de 1 min.

Posteriormente se llevan los resultados a una gráfica de Velocidad promedio en cada tramo de 2000 (m/seg) contra valores de lactato. Se puede calcular el Indice de resistencia (IR) de la siguiente forma:

Indice de resistencia (IR) = Velocidad a 4mmol/l de lactato menos la Velocidad a 2mmol/l

A mayor valor del IR MAYOR ES LA RESISTENCIA

3) Prueba de lactacidemiade doble intensidad de Mader

(1976)⁵

Basada en el mismo principio que la anterior es decir [La]= función (V)

Características: Esta prueba se limita a determinar solo 2 puntos de la curva lactato velocidad durante la fase de acumulación rápida del lactato. Figura 6

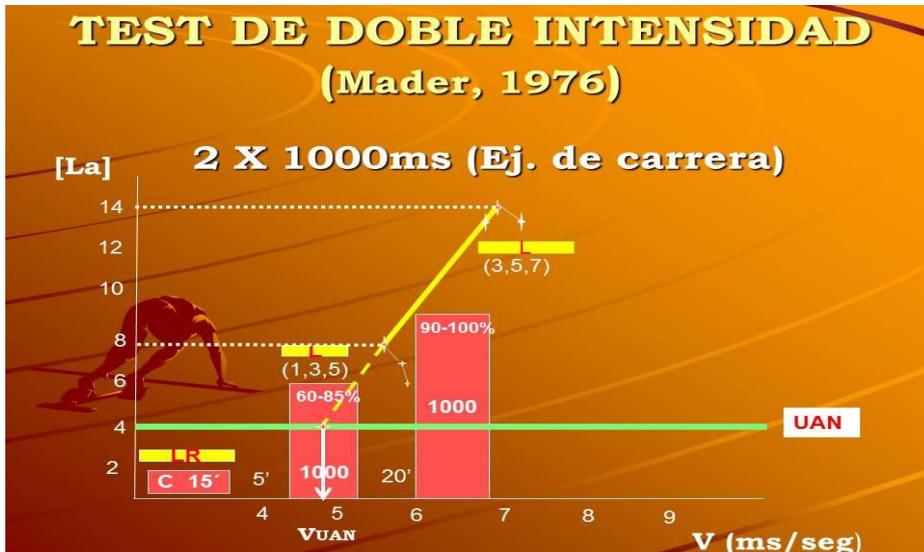


Fig.6 Protocolo de trabajo para la prueba de doble intensidad de Mader en corredores Fuente. Tomado de López G. AV, Borges M. R.¹⁰

En la Figura 6 se observan las características de un protocolo para prueba doble intensidad de Mader que puede realizarse en corredores. Además como puede verse, el valor del umbral será el valor de velocidad de carrera correspondiente a 4 mmol/l, valor que se determina por extrapolación

También es especialidades de fondo se utilizan series de 2x 200 mientras que en nadadores se usan las series de 2x400

4) Pruebas de lactacidemia de larga duración (Máximo estado estable)⁵

Características: Son pruebas rectangulares en cuanto a la carga y triangulares en cuanto al decursar de la prueba. Consisten en la aplicación de cargas de larga duración (10-30 min) con el objeto de establecer la máxima velocidad sin acumulación del lactato sanguíneo,

La máxima velocidad en condiciones de estado estable sería el umbral de lactato real, por cuanto coincide con una situación metabólica en la que la intensidad del esfuerzo puede mantenerse a expensas del metabolismo aerobio, sin que exista

una acumulación de lactato como consecuencia de una progresiva contribución del metabolismo anaerobio láctico.

Se ha realizado en Maratón, Remo, Marcha atlética

En la Fig.7 se brinda un gráfico con resultados obtenidos durante una prueba de máximo estado estable del lactato.

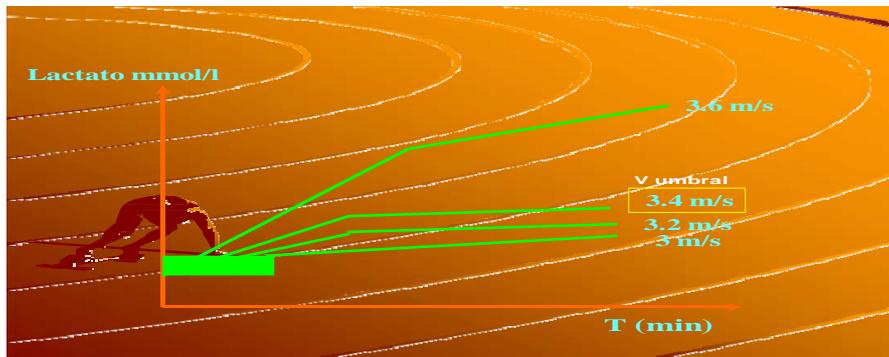


Fig 7. Prueba de Lactacidemia del máximo estado estable

Finalmente debemos señalar que cualquier prueba ya sea de laboratorio o Terreno que sea utilizada para la determinación de la Resistencia aerobia (UAN) se basan en medir tres parámetros fundamentales:

- **La velocidad** de desplazamiento (o Potencia Erogada) como dato sobre el rendimiento
- **La FC y el % de utilización del Oxígeno** como datos indirectos y directos respectivamente del Sistema de Transporte de Oxígeno
- **Los valores de Lactato en sangre** como dato indirecto del metabolismo energético.

Estos parámetros son muy susceptibles de modificarse bajo los efectos del entrenamiento.

Cualquier desplazamiento hacia la derecha en una gráfica de Lactato vs Velocidad ó un punto de deflexión de la FC a la derecha en una gráfica de FC vs Velocidad son buenos Indicadores de una mejor resistencia aerobia

Como conclusión debemos plantear que existe una gran diversidad de pruebas de terreno que podrían contribuir a darle un matiz más variado a las pruebas que habitualmente se realizan a la par de que su utilización podría contribuir en el tiempo a que se puedan ir validando en los deportistas cubanos. Su elección deberá fundamentarse, en los objetivos que se persiguen medir, así como en las ventajas ó limitaciones que las pruebas pueden presentar, lo que resulta de interés conocer, para ampliar el arsenal de pruebas de que se dispone y así llevar a cabo un control médico del entrenamiento cada vez de mayor calidad.

BIBLIOGRAFIA

1. St. Clair Gibson A, Noakes TD. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Brit. J. Sports Med.* 2004; 38(6): 797-806.
2. Conconi F, Ferrari M, Ziglio P, Droghetti P, Codeca L. Determination of the anaerobic threshold by a non-invasive field test in runners. *J. Appl. Physiol.* 1982; 52:869-73.
3. Conconi F, Grazi G, Casoni I, Guglielmini C, Borsetto C, Ballarin E. et al. The Conconi test: Methodology after 12 years of application. *Int. J. Sports Med.* 1996; 17(7):509-19.

4. Cook I. Was the Conconi test validated by sporting success, expert opinion or good science? South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 2011, 33(1): 23-35.
5. Rodríguez Guisado FA, Aragonés M. T. "Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico". En: González G. J, (ed.) Fisiología de la Actividad Física y Deporte. 1ra. Ed. Madrid: Interamericana Mc Graw Hill; 1992. p.237-278
6. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Schurch P, Hollmann W. Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistung fahigkeit in labor. Sportarzt and Sportmedizin. 1976; 27: p 80-88 y 109-112.
7. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R y Hollmann W Justifications of the 4 mmol/l lactate threshold, Int. J. Sports Med. 1985;6: p. 117-130
8. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate Threshold Concepts. How Valid are They? Sports Med. 2009; 39(6): 469-90.
9. Faraggiana, D.: "Evaluation of the state of efficiency of marathonist. Relazione tenuta a Vierumaki, al XVI Congressodell'Associazione Europea dei Tecnici di Atletica, gennaio 1991.
10. López Galarraga AV, Borges Mojaiber R. Test de Doble Intensidad en deportes de resistencia. VI Congreso de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte, La Habana, Cuba, 2012.

Recibido: 16 de octubre de 2013

Aprobado: 16 de enero de 2014