



Rev. Cub. Med. Dep. & Cul. Fís. 2013; Vol. 8, Núm. 3

ISSN: 1728-922X

Artículo de revisión

EL UMBRAL ANAERÓBICO COMO HERRAMIENTA EN EL CONTROL DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

ANAEROBIC THRESHOLD AS RESOURCE IN SPORTIVE TRAINING CONTROL

Mario Alberto Vélez Medina*, Osvaldo García González. **

* Esp, Universidad Nacional. Colombia

** DrC, Instituto de Medicina del Deporte. Cuba

osvaldo@infomed.sld.cu

INTRODUCCIÓN

El estudio de la variable: lactato o ácido láctico (AL) es un tema que ha generado múltiples investigaciones en el campo del deporte en general, no tanto en el análisis de la evaluación funcional de rutina, como en el control del entrenamiento, con particular importancia a la determinación de criterios metabólicos, los cuales generalmente atañen a la determinación del **umbral anaerobio**.

Esta relación deporte y AL ha interesado durante casi un siglo a los profesionales de este campo, hasta llegar a convertirse en una variable de estudio de rutina en los deportes de resistencia, para medir el desarrollo de las capacidades aerobias y anaerobias. (1,2)

En 1924 Hill postuló y demostró que el aumento de la concentración de AL en sangre que se observa durante la realización de un ejercicio se debía a un aporte inadecuado de O_2 en un determinado momento. A partir de ese momento numerosos autores observaron como durante la realización de un ejercicio de intensidad progresiva, la concentración de AL no variaba respecto a su concentración de reposo hasta ciertas intensidades, o sea que a partir de determinada carga de trabajo se producía un incremento progresivo de la concentración de AL en sangre. Es decir, durante un ejercicio de intensidad cada vez mayor, existía un momento a partir del cual, la cifra de AL plasmático que se mantenía similar a los niveles de reposo, comenzaba a aumentar abrupta y progresivamente.

Otros de los primeros referentes en estudiar esta relación entre el AL y las cargas físicas fue Jerwell en 1929 quien, según Margaria (4), fue de los primeros en manifestar la relación curvilínea del lactato con intensidades de trabajo durante el ejercicio, siendo el propio Margaria en 1975, uno de los que demostró cómo la concentración de lactato en sangre se incrementaba linealmente con la duración del ejercicio.

Con el fin de poder utilizar la cinética del AL para el control y la programación del entrenamiento, Mader y col., en 1976, definieron así el umbral del AL: “Es la zona de tránsito entre el metabolismo energético muscular cubierta netamente por el metabolismo aerobio y la zona en la cual interviene parcialmente el metabolismo anaerobio – láctido. Esta zona caracteriza la capacidad de ejecución de la resistencia, si es que ésta se entiende como la máxima capacidad de rendimiento, que en el plano energético, estaría cubierta por la vía puramente aerobia”.

Como suele ocurrir en la gran mayoría de los procesos fisiológicos, al umbral aerobio - anaerobio, no se llega repentinamente, sino gradualmente.

Tal criterio para la definición del umbral aerobio - anaerobio en las pruebas ergoespirométricas con incremento de la carga, fue fijado después de varios estudios en el incremento del AL en la sangre periférica a partir de 4 mmol/L.

Con tal propósito Mader y col. (1976) en la descripción de su método se refirieron a ciertas condiciones esenciales que, lamentablemente aún hoy persisten, probablemente por ignorancia de las relaciones fisiológicas, son motivo de controversia. Por ejemplo, la duración de la carga de trabajo debería ser entre los 5 y 10 minutos; o de lo contrario, como ha ocurrido, se puede incurrir en equívocos sobre la validez del concepto de umbral aerobio - anaerobio. Con cargas de breve duración, especialmente si son de elevada intensidad, no hay tiempo suficiente para un aumento de la concentración de lactato correspondiente a la propia carga y, por consiguiente, la capacidad de ejecución en la competencia prolongada será sobrestimada. En efecto, se ha demostrado que en la pausa de casi 30 segundos, necesaria para efectuar la toma de la muestra entre una carga y otra, se produce una parcial reconstitución de los depósitos de adenosintrifosfato y creatinfosfato (ATP/ PCr).

En una publicación sucesiva, Mader y col. (1985) definieron este comportamiento como la cantidad de AL máximo que se puede tolerar en estado estacionario (Max Lass). Esto guarda relación con la zona del rápido incremento de AL, donde la superación de los 4 mmol/L puede ser asumida como valor de referencia para la ejecución en el "umbral anaerobio".

Con la instauración de un Max Lass en una concentración de $4,0 \pm 1,0$ mmol/L la carga puede ser llevada hasta el agotamiento de las reservas de glucógeno (de casi una hora o más), siempre que en la continuación de la prueba no se presente un repentino aumento del AL que obligue a su interrupción anticipada.

Kindermann y col. (1978) recomiendan redefinir el concepto propuesto por Mader, para facilitar su aplicación práctica en el campo del entrenamiento deportivo y por razones didácticas. Esencialmente señala:

- La zona de los 2 mmol/L como umbral aerobio.
- La zona entre 2 mmol/L y 4 mmol/L como umbral aerobio - anaerobio.
- La zona de los 4 mmol/L como umbral anaerobio.

Keul y col. (1979) en contraste con el concepto de un umbral "fijo" a 4 mmol/L de Mader, introduce el término de umbral anaerobio individual. Afirma que el comportamiento del ascenso de la curva de AL / Ejercicio era distinto, según el estado de entrenamiento y que por tanto era incorrecto tomar como valor de referencia a 4 mmol/L para determinado ejercicio como zona de umbral anaerobio.

Según Stegmann y Kindermann (1981) el "umbral anaerobio individual" es el momento en que el índice máximo de eliminación y el de difusión del AL se hallan en estado de equilibrio.

Para determinar tal punto, al menos durante 10 minutos a intervalos de 2 minutos, se midieron las concentraciones de AL en sangre después del final de un test con cargas crecientes hasta el agotamiento.

Lo cierto es que conocer cuál es la ejecución en el "umbral anaerobio", según la capacidad de ejecución individual, del período, de la temporada y del régimen de entrenamiento, permite una regulación individual y específica de la intensidad que se debe aplicar en el entrenamiento de la resistencia.

Conconi y col. (1982) por medio de un método no invasivo, propone determinar el umbral anaerobio a través de la relación entre la velocidad y la frecuencia cardíaca (FC). La velocidad de umbral anaerobio se identifica en coincidencia con el punto en que la FC se aleja del carácter lineal en un test con cargas crecientes. En la década de los años 90', para evaluar la capacidad de rendimiento de un deportista en una prueba ergométrica con cargas progresivas, prevalecieron los criterios generales enunciados por Heck en 1994:

- Carga máxima alcanzada
- Máximo consumo de oxígeno alcanzado (V_{O_2max}).
- Pulso de oxígeno (máximo pulso de O_2).
- Physical Working Capacity 170 (PWC_{170});
- Interpretación de los "umbrales".

Posteriormente, para cualquier prueba que se realizara hasta el agotamiento, a los criterios citados por Heck relativos a la máxima capacidad de rendimiento, se adicionaron importantes parámetros que brindan información con cierta relevancia para la evaluación de deportistas; estos son entre otros: la máxima frecuencia cardíaca (FC_{max}), el equivalente respiratorio máximo (ER), el cociente respiratorio máximo (QR) y los **máximos valores de la concentración hematológica de AL post – carga.**

Los dos primeros criterios de Heck presuponían que los sujetos sometidos a un test hasta el agotamiento, alcanzarían una carga máxima; mientras que los dos últimos se determinan durante la fase sub-máxima de la prueba.

Obviamente, en la determinación de los parámetros máximos intervienen además de factores objetivos, factores subjetivos que hicieron problemática su selección y su valoración. Por ejemplo, la capacidad de alcanzar una carga máxima depende en gran medida, y como factor objetivo, de la velocidad de incremento de la carga, pero también depende de la motivación del sujeto.

Otro criterio para determinar la máxima capacidad de ejecución está representado por la carga máxima alcanzada en una prueba, siempre y cuando el procedimiento ergométrico que se aplique, se ajuste a las indicaciones, gesto motor y a todas las exigencias específicas que deben ser consideradas, según el deporte.

En cuanto al $VO_2\text{max}$ es innegable su incidencia en el rendimiento, y el máximo pulso de O_2 es la medición de la máxima cantidad de O_2 transportada por cada pulsación que depende esencialmente del volumen minuto sistólico y de la diferencia artero-venosa de oxígeno en el músculo. Según las actuales concepciones, el máximo pulso de O_2 representa una medida de la resistencia, mucho menos válidas que el $VO_2\text{max}$.

Por PWC 170 se entiende la potencia mecánica correspondiente a una frecuencia cardíaca de 170 latidos/minuto. En los sujetos no entrenados, su valor depende esencialmente de la edad, del sexo y del peso corporal. La comparación entre sujetos no entrenados y entrenados la PWC 170 varía, en el sentido de que estos últimos alcanzan resultados mucho más altos.

Un problema que se confronta en su determinación lo constituye la frecuencia cardíaca (FC) del sujeto en cuestión. Los sujetos que tienen una FC máxima elevada es muy probable que presenten en la PWC 170 una capacidad de rendimiento subestimada; por el contrario, los que tienen un FC máxima relativamente baja, muestran una capacidad de rendimiento sobrestimada.

Por tanto, en la actividad deportiva “de tiempo libre” y en el deporte de aficionados la determinación de la PWC 170 puede asumir cierta importancia por tratarse sobre todo de un método no invasivo. En el deporte competitivo, en cambio, la determinación de la PWC 170 tiene poca relevancia. Queda listo entonces, hacer el análisis del quinto criterio general enunciado por Heck en 1994.

La interpretación de los “umbrales “.

Según Heck (1994) por umbral o límite de determinado parámetro fisiológico, se entiende una intensidad funcional correspondiente a una carga durante la cual, el parámetro correspondiente, todavía se halla en un estado estacionario.

Simplificando y para entender mejor este fenómeno, la capacidad de rendimiento físico, para cualquier trabajo dinámico cíclico o en las ejecuciones deportivas que duran varios minutos, se puede subdividir en dos zonas:

- a) Una zona de la resistencia en la cual la necesidad de energía es cubierta exclusivamente por el metabolismo aerobio (zona aerobia).
- b) Otra zona de la resistencia en la cual la necesidad de energía para la contracción muscular puede ser cubierta sólo recurriendo o utilizando predominantemente la vía que ocasiona la formación adicional de AL (zona anaerobia o láctica).

El incremento del AL que se produce en el músculo y en la sangre y/o su acumulación determina una acidosis funcional por trabajo físico que representa a su vez un factor esencial para limitar la ejecución y determina el estado de fatiga o agotamiento.

Si se mide la capacidad máxima de ejecución en un ejercicio continuo de una duración de algunos minutos, ejecutado a una intensidad cercana al máximo consumo de oxígeno ($V_{O_2max} \approx 100\%$) en sujetos no entrenados a la resistencia, solamente la carga correspondiente a casi el 70% de su V_{O_2max} tiene lugar sin incremento de AL. Superado tal por ciento, el sujeto comienza a acumular AL. En cambio, en atletas entrenados para la resistencia, se puede llegar a utilizar hasta el 95% del VO_2max sin acumular AL.

Entre la zona aerobia y la anaerobia existe un momento en el cual el aumento del AL sin su asimilación o remoción indica el inicio de su acumulación. Tal momento, poniendo en la base del razonamiento la concepción de umbral, generalmente se le ha definido como zona de transición o de **umbral aerobio - anaerobio**.

En el marco de cargas sub-máximas se determina el umbral anaerobio que a menudo se le ha conferido equivalencia con la capacidad de ejecución de resistencia o con la capacidad aeróbica.

Las informaciones concernientes a la evaluación funcional experimental en los distintos deportes, especialmente los de resistencia, son numerosas. En dichas informaciones, es innegable la importancia que se le confiere a la determinación del AL sanguíneo, especialmente para la especialidad de la carrera en el atletismo, la canoa, el ciclismo, el canotaje, la natación, el triatlón, etc., las que se realizan de forma rutinaria.

Föhrenbach (1987) llegó a cuantificar los métodos de entrenamiento en las disciplinas de carrera del atletismo, clasificando las intensidades metabólicas a las cuales se entrenaban atletas de ambos sexos, practicantes de carrera de medio-fondo y fondo, según el momento de la temporada competitiva.

Así, en las atletas de los 800 m de carrera, las unidades más intensivas de carga por encima de los 4 mmol/L de LA representaban del 20 al 35% del entrenamiento global, mientras el restante 65-80% del entrenamiento de carrera se desarrollaba a una intensidad que no producían más de 4 mmol/L de AL. Para las atletas practicantes de los 3000m, los correspondientes por cientos oscilaban, respectivamente, de casi 0 hasta el 15% y del 80 hasta el 100%, respectivamente.

También Vassiliadis y otros autores han clasificado los métodos de entrenamiento de los medio fondistas del atletismo y han demostrado que alrededor del 85% de todas las cargas de entrenamiento se desarrollan a intensidades correspondientes a concentraciones de lactato que van del valor de reposo hasta la de 2,5 mmol/L.

Para estos autores no existen razones fisiológicas o evidencias prácticas a favor de un entrenamiento que, con la justificación de un mejor efecto, se ejecute predominantemente, en la zona de los 3 – 4 mmol.l⁻¹ de AL, o a intensidades todavía más elevadas.

Como se ha señalado, el empleo de la medición de la concentración del AL como parámetro útil para la regulación del entrenamiento, apunta a que este para ser eficaz, siempre debe asociarse con el logro de una determinada intensidad de ejercicio o con el mantenimiento de determinados valores de AL.

Lo cierto es que puede asegurarse que las determinaciones bien ajustadas de AL se han utilizado para:

- Conocer la situación metabólica que predomina durante la carga física realizada.
- Hacer el diagnóstico de la intensidad del entrenamiento.
- Realizar un pronóstico de la capacidad de rendimiento del deportista.
- Determinar las velocidades necesarias para incrementar la existencia aerobia y anaerobia.
- Determinar el grado de incremento de la resistencia aerobia y anaerobia en el macrociclo.
- Monitorear el desarrollo de las capacidades en condiciones de altura.

Y también puede afirmarse que no debe especularse sobre determinados estímulos o adaptaciones producidos por el entrenamiento, solamente a través de la consideración o la obtención de determinados valores de AL. Es necesario tener en cuenta otros múltiples factores y las particularidades metabólicas individuales en los atletas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEAULIEU, P.; H.OTTOZ; C.GRANGE. - Blood Lactate Levels of Decathletes During Competition - Br- J.Sports - Medicine Vol 29 No. 2 pp 80-84. 1995.
2. FOSTER, C.; M.CROWE; D. HOLUM. - The Bloodless Lactate Profile. Medicine and Science Sports and Exercise - Vol 27 No. 6 pp 927-933. 1995.
3. MARGARIA, R.- Fisiología Muscolare y Mecánica del Movimiento Edit.Scientifiche e Tecniche Mondadori Milano. 1976.
4. FARRELL, P.A. et al - Plasma Lactate and Distance Running Performance. Medicine and Science in Sports and Exercise. Vol 15 No. 10 - pp 1091-1097. 1993.
5. COPLY, E. - Integration of the Physiological Factors Determining Endurance Performance Ability. Medicine and Science a Sport and Exercise. Vol 25 No. 1 - pp 25-63.1995.
6. BENEKE, R. - Anaerobics Threshold, Individual Anaerobic Threshold and Maximal Lactate. Medicine and Science a Sport and Exercise. Vol 27 No. 6 - pp 863-867. 1995.
7. WAKAYOSHI, K. - Adaptations to Six Months of Aerobic Swim Training. Changes in Velocity, Stroke Rate, Stroke Length and Blood Lactate. International Journal of Sports Medicine. Vol 14 No. 7 - pp 368-372. 1993.
8. CERRETELI, P. - Recenti Progressi in Fisiología Applicata alle Attività Sportive. Revista di Cultura Sportiva. Vol 10 No. 21 -pp 2-6. 1991.
9. SNYPER, A.C. et al. - A Simplified Approach to Stimating the Maximal Lactate Steady State. International Journal of Sports Medicine. Vol 15 No. 1 - pp 27-31. 1994.
10. CLINGELEFFER, A. -The Use of Critical Power as a Determinant for Stablishing the OBLA. European Journal of Applied Physiology. Vol 68 No.2 -

- pp 182-187. 1994.
11. MEDBO, J. - Glycogen Breakdown and Lactate Accumulation during High Intensity Cycling. Acta Physiologica Scandinavica. Vol 149 No. 1 - pp 85-89. 1993.
 12. LEYK, D. et al - Postural effect on Cardiac output, Oxygen Uptake and Lactate during Cycloexercise of Varying Intensity. European Journal Applied Physiology. Vol 68 No. 1 - pp 35-40. 1994.
 13. VANUXEM, A. et al - Changes in Blood Ammoniac Induced by a Maximum Effort in Trained and Untrained Subjects. Arch. Int. Physiol. - Biochim - Biophys. Vol 101 No.6 - pp 405-409. 1993.
 14. MC. GUIGGIN, M.; D. SCHNEIDER. - Plasma Cyclic AMP and Blood Lactate Responses to Incremental Cycling in Untrained Male Subjects International Journal of Sports Medicine. Vol 14 No. 7. - pp 362-367. 1993.
 15. OHKUWA, T.; H. ITOH. - Blood Lactate, Glycerol and Catecholamine in Arm Strokes, Leg Kicks And whole Crawl Strokes, Journal of Sports Medicine and Physiological Fitness. Vol 32 No. 1 - pp 32-38. 1992.
 16. TRUDEAU, F. et al - Exercise Induced Increase of Plasma Lactate is Abolished by Pre-exercise Epinephrine Infusion. Arch. International Physiol. - Biochim - Biophys. Vol 102 No. 1- pp 21-26. 1994.
 17. MAZZED, R. et al - Beta Adrenergic Blockade does not Prevent the Lactate Responses to Exercise after Acclimatization to High Altitude. Journal of Applied Physiology. Vol 76 No. 2 - pp 610-615. 1994.
 18. LOPEZ CHICHARRO, - Umbral Anaerobio. Bases fisiológicas de aplicación. Editorial McGraw - Hill - Interamericana de España. Pp 120-122. 1991.
 19. FOSTER, C.; LL. HECTOR; R. WELSH; M. SHRAEGER. - Effects of Specific versus Cross-Training on Running Performance. European Journal Appl. - Physiology. Vol 70 No. 4 - pp 367-372. 1995.
 20. BONIFAZI, M.; G. MARTELLI; L. MARUGO. - Blood Lactate Accumulation in Top Level Swimmers following Competition. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness # 33 pp 13-18. 1993.