PubliCE, (PubliCE) 2010

Monograph

El Método Dmáx. no Produce una Estimación Válida del Umbral de Lactato

Mark Janeba[1], Daniel Yaeger[2], Rachel White[2] y Stasinos Stavrianeas[2]

[1]*Department of Mathematics, Willamette University, Salem, OR, Estados Unidos.*
[2]*Department of Exercise Science, Willamette University, Salem, OR, Estados Unidos.*

RESUMEN

El propósito de este estudio fue establecer la validez del método Dmáx. que se basa en un modelo matemático para determinar el umbral del lactato (LBP) durante la realización de tests de ejercicio de intensidad incremental. Seis ciclistas de sexo masculino de competición (edad 20,83±3,12 años, talla 180,83±10,34 centímetros, peso 73,75±8,87 kg) realizaron un test de esfuerzo incremental (carga inicial 160 W con incrementos de 40 W) hasta el agotamiento. Cada etapa tuvo una duración de 2 minutos y al final de cada fase se tomaron muestras de sangre del lóbulo de la oreja, para analizar el contenido de lactato con un analizador de lactato *YSI 1500 Sport*. El método de Dmax se utilizó para determinar el LBP. Para demostrar la dependencia que tiene el método Dmax sobre datos no relacionados al LBP, eliminamos los primeros o los últimos datos de la curva de lactato y recalculamos el LBP. La eliminación del primer punto de los datos causó un aumento en la intensidad del ejercicio en LBP de 11,02±4,64 W (4,04%, $p<0,05$) y el valor del lactato tuvo un incremento de 0,66±0,45 mM (17,27%, $p<0,05$), mientras que la eliminación del último valor de lactato causó una reducción de la intensidad del ejercicio en LBP de 28,48±18,69 W (10,44%, $p<0,05$) y una disminución en el valor de lactato de 0,82±0,67 mM (21,46%, $p<0,05$). Las dos nuevas estimaciones del LBP también fueron diferentes una de otra tanto para el lactato como para la intensidad de carga ($p<0,05$). Nuestros datos indican que el método de Dmáx. tiene la desventaja de ser altamente dependiente de los datos de carga de trabajo más bajos y más altos de la curva de lactato y por lo tanto el LBP calculado varía con elecciones subjetivas de protocolo realizadas por el investigador. En consecuencia, creemos que el Dmax no es un método válido para la determinación del umbral del lactato.

Palabras Clave: ácido láctico, modelo matemático, rendimiento

INTRODUCCION

El concepto de umbral del lactato para describir un aumento abrupto en la concentración de lactato sanguíneo durante el ejercicio ha sido ampliamente discutido. La evolución desde umbral del lactato universal (LT) de 4 mM, hacia un concepto más individualizado de Comienzo de Acumulación de Lactato Sanguíneo (OBLA), y posteriormente al concepto actual de estándar de Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS) refleja el cambio del conocimiento a medida que comprendemos mejor los procesos bioquímicos de producción y *clearance* de lactato, y el rol de lactato durante el ejercicio prolongado de intensidad submáxima. Los protocolos experimentales usan invariablemente etapas de ejercicio con intensidad progresivamente mayor, y la recolección de la muestra de sangre se realiza al final de cada etapa. Se ha intentado identificar este umbral de lactato (LBP) usando técnicas experimentales (es decir inspección visual de la curva de lactato,

comparación con el umbral ventilatorio), y modelos matemáticos (es decir la transformaciones log-log).

Varios investigadores han analizado la variabilidad asociada con los diferentes métodos de determinación de LBP, pero no alcanzaron un consenso general (para una revisión comprensiva vea la referencia. 4).

Para abordar este problema de precisión en la determinación del LT, el modelo matemático se utilizó con el fin de identificar un punto de inflexión "objetivo", basado en las características polinómicas de la curva del lactato.

En su trabajo ampliamente citado, Cheng et al. (1992) describieron el procedimiento que utilizaban para calcular Dmax. de la siguiente manera: Se traza la curva de lactato con la carga de trabajo en el eje x.

Lugo la curva fue ajustada con un ajuste polinómico de tercer orden por el método de los cuadrados mínimos. Se traza la línea secante que conecta los puntos correspondientes al lactato en las cargas de trabajo más bajas con los datos del lactato de las cargas de trabajo más altas. Finalmente, el punto en la curva cúbica más alejado de la línea secante se identifica como el umbral del lactato (2). Este método se ha vuelto popular entre investigadores y entrenadores, principalmente porque agrega un elemento de objetividad a la valoración del umbral del lactato. Sin embargo es necesario destacar que el concepto de Dmáx. no está aceptado universalmente.

Por ejemplo, Zhou & Weston (1997) verificaron la fiabilidad del modelo matemático determinando el umbral de lactato, pero ellos también advirtieron que la validez de este método aún debe ser establecida (7). En otras palabras, el hecho que el método de Dmáx. arroje resultados consistentes, no necesariamente significa que estos resultados sean exactos o preferibles por encima de otras técnicas.

Ésta puede haber sido la situación por la cual Bishop et al. (1998) propusieron un protocolo de Dmáx. modificado como metodología para determinar la intensidad crítica del umbral de lactato que podía predecir el rendimiento aeróbico durante un ejercicio de ciclismo de 1 hora. En el modelo de Dmáx. modificado, el umbral del lactato se determina conectando el lactato máximo en la curva de lactato con el último punto previo a la desviación de la línea de base, en lugar del primer punto de la curva.

Notablemente, el método de Dmáx. y Dmáx. modificado arrojaron correlaciones muy similares con la producción de potencia media durante la prueba de 1-hora a pesar de una diferencia de más de 33 W en la estimación de potencia en el LBP que fue estadísticamente significativa en el caso de la estimación por el método Dmáx. modificado (1).

Un aspecto que aún no ha sido resuelto es que ambos métodos basados en modelos (Dmáx. y Dmáx. modificado) dependen del último punto de los datos recolectados durante la prueba que normalmente corresponde al esfuerzo máximo. Sin embargo por muy común que sea esta práctica de evaluación, no es inherente que el mayor valor de lactato que un atleta pueda alcanzar determine el LBP del atleta, o que estos dos índices fisiológicos diferentes (el LBP y la concentración máxima de lactato en sangre) estén fisiológicamente o funcionalmente conectados. En la revisión de la literatura que realizamos, no encontramos ninguna justificación fisiológica para utilizar cualquier valor de lactato por encima de LBP como criterio para la determinación del propio LBP.

Por lo tanto, el argumento de que un atleta debe alcanzar un valor máximo de lactato antes de que se calcule el LBP, todavía no ha sido demostrado.

Un caso similar se plantea con respecto al uso del primer punto en la curva de lactato para determinar el LBP utilizando el método de Dmáx., como también lo indica el método de Dmáx. modificado (1).

Nosotros creemos que, en términos matemáticos y fisiológicos, la determinación de un punto en el medio de la curva del lactato debe ser independiente de los valores máximos y mínimos de esta curva.

Cuando lo que importa es la exactitud del LBP, tienen una importancia particular las mediciones que se encuentran alrededor de ese punto, y los investigadores pueden estar menos interesados sobre la intensidad inicial o final del test luego de que se alcance el LBP. No obstante, todavía se observan informes en la bibliografía donde para determinar el LBP se utilizan los métodos Dmáx. y Dmáx. modificado. Nosotros desarrollamos un protocolo de Dmáx. utilizando el *software* MS-Excel que permite la determinación del LBP. Nosotros analizaremos cómo está influenciado el método Dmáx. por la selección de la carga de trabajo, tanto en los ejercicios de alta intensidad como en los de baja intensidad y posteriormente, si el Dmáx. es un método válido para determinar el LBP.

METODOS

Sujetos y Procedimientos

Seis ciclistas de sexo masculino competitivos (edad 20,83±3,12 años, talla 180,83±10,34 centímetros, peso 73,75±8,87 kg) realizaron un tests de esfuerzo de VO_{2max} incremental utilizando una bicicleta ergométrica Monark 839E. Luego de una adecuada entrada en calor, los participantes realizaron etapas de 2-min hasta el agotamiento, comenzando con 160W y con incrementos de 40W. Al final de cada etapa de 2-min se obtuvieron muestras de sangre (25 l) del lóbulo de la oreja y fueron analizadas con un analizador de lactato calibrado *YSI 1500 Sports*. Nosotros hemos informado previamente la fiabilidad y validez de este dispositivo para medir el lactato sanguíneo (5). Todos los procedimientos fueron aceptados por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de Willamette y todos los participantes firmaron formularios de consentimiento informado.

Cálculo de Dmáx.

Sobre la curva de datos de respuesta de lactato (carga de trabajo versus lactato), realizamos el ajuste polinómico por medio de los cuadrados mínimos.

Este cálculo puede ser realizado automáticamente por el comando LINEST de la barra de herramientas de Microsoft Excel o por una función común incorporada a muchos *software* de procesamiento de gráficos. En Excel, el comando es:

INDEX (LINEST (lactate values ,(workload values) ^ {1,2,3}), 4-term)

Que calcula una lista de cuatro coeficientes del polinomio de tercer orden. Denominándolos, a_3, a_2, a_1 y a_0 y, el polinomio de tercer orden por medio de los cuadrados mínimos se obtiene con la siguiente fórmula,

Lactato= P (w) = $a_3w^3+a_2w^2+a_1w+a_0$, dónde w es la carga de trabajo

Entonces el term=0 corresponde al coeficiente de la constante a_0, el term=1 corresponde a a_1, etc. Este comando genera la curva que mejor se ajusta a los datos del lactato para cualquier carga de trabajo dada.

Calculamos luego la pendiente de la secante (línea que conecta el primer y el último dato)

m = (lactato final - lactato inicial) / (carga de trabajo final – carga de trabajo inicial).

Un cálculo directo demuestra que en el punto en la curva de tercer orden más alejado de la secante, la pendiente de la tangente a la curva de tercer orden es igual a la pendiente de la secante. La pendiente de la tangente al polinomio de tercer orden en la carga de trabajo w es $3a_3w^2+2a_2w+a_1$. Igualando éste término a m a partir del paso anterior y resolviendo la ecuación cuadrática resultante $3a_3w^2+2a_2w+ a_1 - m=0$ da

$$w = \frac{-a_2 \pm \sqrt{a_2^{\,2} - 3a_3(a_1 - m)}}{3a_3}$$

Asumiendo que la forma de la curva del lactato es cóncava hacia arriba, nosotros queremos "+" en lugar de "±." La *w* es el trabajo en el LT estimado calculado por el método de Dmáx. El último paso es la determinación de la concentración de lactato en LT, y ese valor puede ser calculado sustituyendo *w* en el polinomio P(w) descripto anteriormente. De acuerdo con el método de determinación original Dmáx., el punto en la curva de tercer orden más alejado de la línea secante (1) también es el punto en la curva de tercer orden mas alejado verticalmente de la línea secante, ya que estas dos distancias están en relación constante.

Análisis Estadísticos

Al finalizar el test generamos curvas Dmáx. individuales que se observan en la Figura 1 utilizando el procedimiento descripto previamente y registramos las estimaciones de potencia y lactato sanguíneo (LT1). Luego simulamos la variación en la carga de trabajo inicial del protocolo de evaluación de lactato reteniendo u omitiendo los datos iniciales (LT2). De manera similar, calculamos la estimación de LBP por Dmáx. reteniendo u omitiendo los últimos datos de la curva de lactato original (LT3). Las tres curvas (todos los puntos, eliminando la intensidad más baja y eliminando la intensidad más alta) arrojaron un umbral de lactato. Los valores de potencia y de lactato sanguíneo que correspondieron a estos LBPs fueron comparados entre los participantes utilizando ANOVA de medidas repetidas de una vía (α=0,05).

En aquellos casos en que fuera apropiado, se usaron los tests *post-hoc* de Tukey y Bonferroni para identificar las diferencias estadísticamente significativas entre los tresumbrales del lactato.

RESULTADOS

En la Figura 1 se presenta una muestra la curva de Dmáx. utilizando el procedimiento descripto antes para cada participante. Los cambios sobre los puntos de los datos de lactato iniciales o finales alteraron la pendiente de la secante y en consecuencia el cálculo de estimación de Dmáx., tal como se observa en la Figura 2. En esta curva de la muestra específica, la omisión de los primeros datos en la curva de lactato aumenta 14 W el valor de LBP. Alternativamente, la omisión del último punto de los datos disminuye 34 W la estimación de LBP.

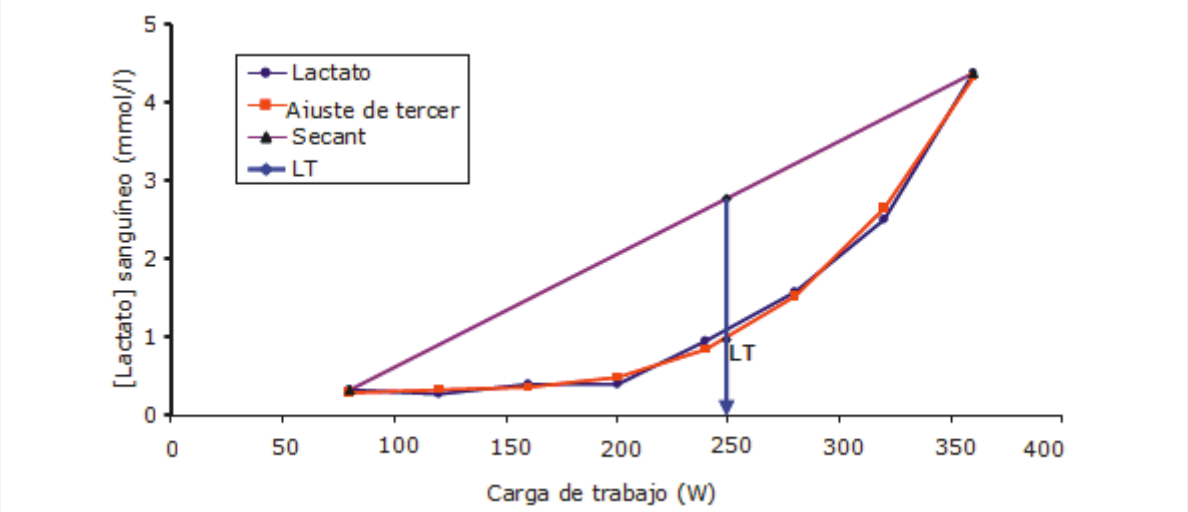

Figura 1. *Diagrama de un cálculo típico realizado por el método Dmáx.. Destacamos que la deflexión máxima puede ser calculada verticalmente a partir de la curva de ajuste. El umbral de lactato se simboliza con LT1.*

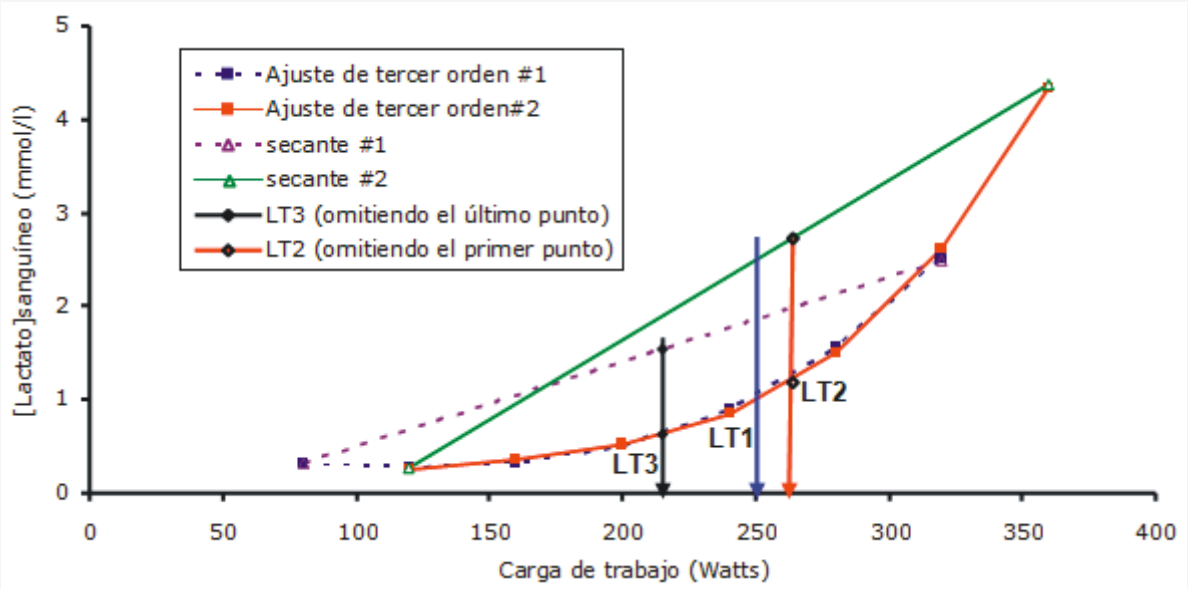

Figura 2. *En ésta curva de lactato de ejemplo, dos diagramas superpuestos de Dmáx., resaltan la sensibilidad de la estimación de LBP por este método, a través de la variación de las pendientes de las secantes por la selección de puntos iniciales o finales. El umbral de lactato original (LT1) se presenta como referencia. Luego de remover el valor de lactato más alto, como en el caso de un test que finaliza justo después que se alcanza el LBP, se observa una disminución de la intensidad del LBP de 34 W (LT3). De manera*

contraria, al eliminar el primer punto, se observa un incremento en la intensidad de 16 W (LT2).

En la Figura 3 se muestran las diferencias en la potencia en los tres LBP. La eliminación del primer punto de datos (la menor intensidad de inicio, LT2) provocó un aumento en la intensidad del ejercicio en LBP de 11,02±4,64 W (4,04%, p <0,05) en comparación con LT1 (curva original). Por otro lado, nuevamente en comparación con la curva original, la eliminación del último valor del lactato provocó una reducción en la intensidad del ejercicio en LBP (LT3) de 28,48±18,69 W (10,44%, p <0,05). Los dos nuevos valores estimados de carga de trabajo (LT2 y LT3) también presentaron diferencias entre ellos (p <0,05)

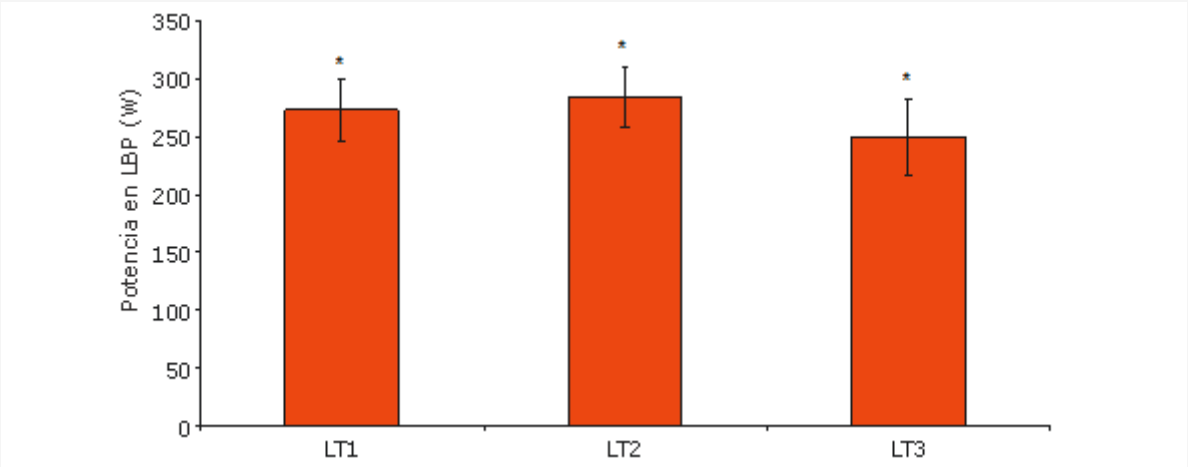

Figura 3. *Potencia media (W) en cada una de las tres estimaciones de LBP. Los ANOVA de mediciones repetidas arrojaron diferencias significativas entre cada uno de los tres LTs. Nosotros hemos demostrado en otros trabajos, que desviaciones tan grandes en la determinación de la potencia en el LBP podrían tener efectos muy perjudiciales sobre el rendimiento durante la realización de ejercicios prolongados en bicicleta ergométrica (7).*

En la Figura 4 se muestran las diferencias en la concentración de lactato sanguíneo en el LBP. Con respecto a LT1, los valores de lactato sanguíneo aumentaron 0,66±0,45 mmol/L (17,27%, p <0,05) cuando se removió el primer punto de la serie de datos (LT2). En contraste, los valores de lactato sanguíneo disminuyeron 0,82±0,67 mmol/L (21,46%, p <0,05) cuando se removió el último punto de la serie de datos de la curva (LT3). Las dos nuevas estimaciones de LBP también presentaron diferencias significativas entre ellas (p<0,05). Así, mediante la remoción del primer o del último dato obtuvimos valores significativamente diferentes de lactato y de intensidad de carga de trabajo en el umbral de lactato.

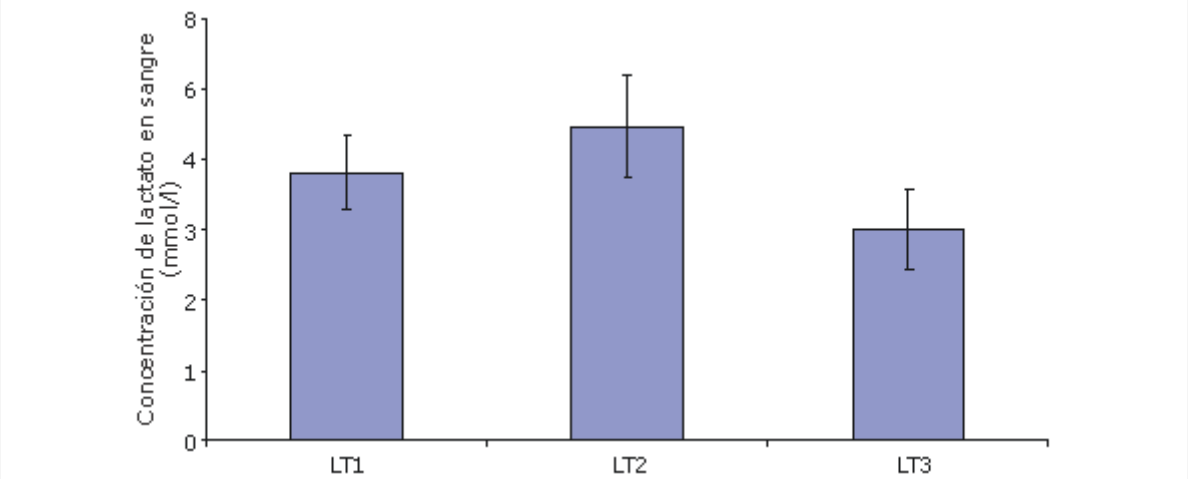

Figura 4. *Concentración media de lactato en sangre en las tres estimaciones de LBP. Cada valor fue significativamente diferente (p <0,05) de los otros dos a pesar de la baja potencia estadística de la evaluación (p=0,48).*

DISCUSION

Nuestro trabajo señala la falla fundamental del método Dmáx.: su dependencia de selección arbitraria de la carga de trabajo inicial y final. Desde una perspectiva metodológica, la selección de la intensidad inicial durante un test de VO_{2max} se establece para proporcionar un iniciosuave hacia el esfuerzo máximo subsecuente. Nuestra revisión extensa de los protocolos experimentales que han sido publicados en la literatura, no arrojó ninguna recomendación concreta acerca de la intensidad de inicio para tales tests, por lo tanto la elección generalmente es arbitraria y depende de los objetivos específicos de cada estudio. Por consiguiente, nuestros datos demuestran que un dato arbitrario, que refleja el nivel de lactato sanguíneo durante un ejercicio de intensidad confortable, puede influir en la determinación subsecuente de la carga de trabajo que podría (al menos, teóricamente) predecir el rendimiento óptimo durante el ejercicio prolongado.

En nuestra opinión este efecto es indefendible y por esta razón cuestionamos el valor científico del método de Dmax para la determinación del LBP.

El segundo factor que se observó que afectaba la identificación del LBP con el método Dmáx. fue el último dato en la curva del lactato que corresponde al esfuerzo máximo. A partir de nuestra experiencia no cabe ninguna duda que la mayoría de los participantes del estudio y los atletas de competición se esfuerzan hasta el límite de sus capacidades físicas durante las pruebas de esfuerzo máximo. Sin embargo, no hay ninguna conexión fisiológica establecida, entre el lactato sanguíneo en el LBP y la concentración máxima de lactato. Por lo tanto, no se justifica la inclusión de la concentración máxima de lactato como criterio para la determinación del LBP.

Por consiguiente, nuestra evidencia experimental confirma nuestra hipótesis teórica que el uso del método Dmáx. para determinar LBP no está sustentada por mecanismos fisiológicos.

Desde una perspectiva matemática, la estimación de Dmáx. probablemente coincide con las estimaciones visuales del umbral en series de datos con una marcada desviación en el umbral, es decir aquellos datos que son fáciles para evaluar. El supuesto valor del método de Dmáx. es para las series de datos difíciles. Desafortunadamente, para tales series de datos, las estimaciones de Dmáx. varían notablemente con cargas de trabajo inicial y final diferentes. Un aspecto adicional es que el cálculo de Dmáx. no requiere realmente un gráfico de la curva de lactato, ya que los cálculos son numéricos, no gráficos. Un investigador que utiliza el método Dmáx. no necesita nunca visualizar una representación gráfica de los datos, lo que revelaría claramente un problema con los datos, por ej. que la curva se vuelve cóncava hacia abajo.

Antes de apresurarnos a descartar el método Dmáx., debemos estar atentos a cualquier importancia práctica potencial del Dmáx. para determinar el LBP.

Después de todo, algunos estudios han informado que el método Dmáx. arrojó correlaciones moderadas a altas con el rendimiento real durante eventos aeróbicos de duración intermedia a larga (es decir 3).

Sin embargo, al comparar el método Dmax con otros métodos de determinación de LBP (como T_{Vis}, T_{+1}, T_4, T_{log}, T_{Dmax}, T_{Dmax} modificado, T_{Ven}), hemos informado previamente que tales comparaciones arrojan una amplia gama de intensidades de LT (165-265W) diferentes e inaceptables (6). Así, y de acuerdo con aspectos mencionados previamente (7), no hay sustento práctico para utilizar Dmáx. como método válido para la determinación del LBP. A tal fin, nosotros no podemos sugerir el método más apropiado para la determinación del LBP, pero afirmamos que, en adelante, el método de Dmáx. no debería ser considerado como una de las opciones disponibles.

Aunque el cálculo de Dmáx. no depende de la evaluación subjetiva de los datos, depende mucho de las decisiones subjetivas tomadas en la obtención de los datos. Tales decisiones son comunes en el campo de las pruebas, dónde intensidades demasiado bajas o demasiado altas no son necesarias para la determinación exacta del umbral del lactato. Por ejemplo, si el propósito de alguna prueba es determinar el LBP, entonces no hay ninguna justificación fisiológica para continuar la prueba después que el LBP ha sido establecido claramente (debido a que allí no hay ninguna necesidad de un valor máximo de lactato).

Conclusiones

Los conjuntos de datos que forman curvas de lactato con una marcada desviación o "ángulo agudo" en el umbral del lactato son fáciles de analizar. El método Dmáx. fue presentado como un método para evitar la subjetividad de estimación visual en conjuntos de datos difíciles. Sin embargo, nuestro análisis demuestra que las estimaciones de Dmáx. no son menos subjetivas que las estimaciones visuales que buscan reemplazar; las decisiones subjetivas simplemente se trasladan del cálculo por computadora al diseño del protocolo de evaluación.

Nuestros datos indican que el método de Dmáx. no tiene valor para la determinación del umbral del lactato.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por subsidios otorgados por la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF-DUE 0529211), y la Fundación *Mary Stuart Rogers*. Este trabajo fue presentado en forma de póster en la conferencia de la Universidad Americana de Medicina del Deporte del Noroeste en 2007.

Dirección de Contacto

Stavrianeas S, PhD, Department of Exercise Science, Willamette University, Salem, OR, USA, 97301. Teléfono (503) 370-6392; Fax: (503)370-6379; Correo electrónico: stas@willamette.edu

REFERENCIAS

1. Bishop D., Jenkins D. G., Mackinnon L. T (1998). The relationship between plasma lactate parameters, Wpeak and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc 30 (8):1270-1275*
2. Cheng B., Kuipers H., Synder A. C., Keizer H. A., Jeukendrup A., Hesselink M (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med 13:518□522*
3. Murphy K., Winger J., Stavrianeas S (2009). The onset and magnitude of cardiovascular drift depend on exercise intensity in competitive cyclists. *Med Sci Sports Exerc 40 (5):S40*
4. Weltman A (1995). The blood lactate response to exercise. *Champaign: Human Kinetics*
5. White R., Yaeger D., Stavrianeas S (2009). Determination of blood lactate concentration: reliability and validity of a lactate oxidase-based method. *Int J Exerc Sci 2: 83-93*
6. Yaeger D. B., White R. F., Stavrianeas S (2007). Determination of Maximal Lactate Steady State: Convenience over Accuracy?. *Med Sci Sports Exerc 39 (5):S251*
7. Zhou S., Weston S. B (1997). Reliability of using the D-max method to define physiological responses to incremental exercise testing. *Physiol Meas 18: 145-154*

Cita Original

Janeba M. R., Yaeger D. P., White R. F., Stavrianeas S. The Dmax Method Does Not Produce a Valid Estimate of the Lactato Threshold. JEPonline; 13 (4): 50-57, 2010.