



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN MEDICINA DEL DEPORTE

“VALIDEZ DE LAS PRUEBAS DE UMBRAL VENTILATORIO Y UMBRAL DE LACTATO EN CICLISTAS PROFESIONALES”

Nombre del Residente: JORGE VILLARÁN ZERDA

Nombre de los asesores del Trabajo: Jorge Alave Rosas

Arturo Cabrera Hernández

Lima – Perú

2019

VALIDEZ DE LAS PRUEBAS DE UMBRAL VENTILATORIO Y UMBRAL DE LACTATO EN CICLISTAS PROFESIONALES

Resumen

Introducción: A pesar su uso por costo y practicidad no existe un valor de lactato en sangre que represente adecuadamente al umbral ventilatorio. El método visual, el Dmax, el inicio de la acumulación de lactato en sangre (OBLA) y el Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS) son los métodos de descripción de la curva de lactato más conocidos. Al querer comparar estos diferentes resultados con el umbral ventilatorio (VT), uno puede observar un buen coeficiente de correlación pero que no incluye el error sistemático y el aleatorio. *Objetivo:* Evaluar la validez mediante el análisis de concordancia de los métodos de medición de umbral de lactato en una prueba incremental de ejercicio en cicloergómetro en relación a la medición directa del umbral ventilatorio. *Materiales y métodos:* Estudio retrospectivo de validación diagnóstica en ciclistas profesionales entre 18 a 31 años de Cali, Colombia. Los registros serán evaluados mediante ANOVA, con análisis de Bland-Altman y usando el Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin. Se considerará un $p < 0.05$ y se hará uso del software SPSS 19.0.

Palabras clave: Umbral ventilatorio; umbral de lactato; concordancia, ciclistas.

Introducción

El consumo de oxígeno tiene la posibilidad de ser usado como parámetro para la mejora del rendimiento, ajustando cargas de esfuerzo en base a las respuestas fisiológicas de cada individuo.(1) Su estudio nos permite cuantificar la intensidad del entrenamiento para la prescripción del ejercicio, señalar los efectos de los programas aeróbicos de entrenamiento y clasificar a los individuos en riesgos de salud, colocando a esta prueba como parte importante dentro de la prevención.(2,3) Algunos estudios muestran la disminución de la prevalencia de lesiones en los atletas conforme mejoran sus umbrales de VO₂ máx y por ende, su acondicionamiento cardiorespiratorio.(2,4,5) Es así que en el fútbol se ha visto una disminución de 5% a 6% en el riesgo de lesión durante la temporada de competencia por cada 1 mL/kg/min e aumento del VO₂max en pretemporada.(4,5) La adaptación fisiológica y biomecánica que acompaña al acondicionamiento aeróbico puede ser un factor protector, sobre todo en las partes finales del evento en las que la fatiga empieza a influenciar al desempeño. (1,6-8)

La utilidad del estudio del metabolismo del lactato como parte de la evaluación de la capacidad cardiorrespiratoria en pacientes y atletas se ha incrementado con los años.(9) La presencia continua, aún en reposo del lactato en sangre, magnificándose conforme se intensifica el ejercicio nos habla de una mayor relación de esta con la tasa metabólica corporal que con la presencia de oxígeno.(10) La cinética del lactato es equilibrada por diferentes mecanismos de compensación que permiten mantener la homeostasis en nuestro cuerpo. Sin embargo, el control corporal de este metabolito no es suficiente cuando el lactato alcanza niveles altos de producción, generando una descompensación del sistema y llevándonos a diversos cambios fisiológicos que no permiten adaptarnos al ejercicio.(9,11) Al analizar el comportamiento del lactato en sangre durante el ejercicio podemos observar una curva de crecimiento exponencial en la cuál algunos autores han descrito dos puntos de quiebre o umbrales: el primer umbral en el que el lactato en sangre incrementa por encima de los niveles basales pero que la capacidad oxidativa de todo el sistema es capaz de mantener en equilibrio, y el segundo umbral en la que la alta intensidad de la producción de lactato no permite una adecuada eliminación y el lactato es acumulado en forma constante.(11) Cuando la curva de lactato se inclina hacia la derecha, mostrando menor concentración de lactato en sangre ante una carga de ejercicio, puede ser interpretada como una capacidad de resistencia mejorada, ocurriendo lo contrario si esta se desvía hacia la izquierda. Teniendo esto en consideración, también es necesario tomar en cuenta otras variables que pueden afectar la curva de lactato, como la disminución en la reserva de glucógeno (ya sea de origen nutricional o por un ejercicio fatigante previo), la composición de fibra muscular, actividad de enzima lipolítica y glucolítica, densidad mitocondrial y las técnicas metodológicas. (9)

El análisis del VO₂ basado en su correlación con la medición del lactato en sangre ha permitido generar una mejor monitorización del entrenamiento. El principal problema es determinar un valor de lactato en sangre que represente adecuadamente al umbral ventilatorio. El método visual, el Dmax, el Inicio de la Acumulación de Lactato en Sangre (OBLA) y el Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS) son los métodos de descripción de la curva de lactato más conocidos. (12) El umbral de lactato es definido como la tasa de trabajo o consumo de oxígeno en la que la concentración en sangre de esta aumenta rápidamente. Con el método de inspección visual, se analiza la relación gráfica entre la concentración de lactato y el O₂, el tiempo o la tasa de

trabajo para determinar el punto de quiebre del lactato en sangre (LT). En el método Dmax una regresión curvilínea de tercer orden de la concentración de lactato versus el O₂ es usada para determinar un punto umbral. Una línea que une al punto mínimo con el punto máximo, y otra línea perpendicular conecta la línea previa a la línea de regresión curvilínea con la menor distancia posible. El punto de intersección es llamado Dmax. Otra forma de medir el umbral de lactato es el método del punto fijo del OBLA, en la que se usa una tasa de trabajo u O₂ que corresponde a un valor fijo de lactato (ejemplo: 2.2, 2.5, 4 mM) que es el punto donde comienza la acumulación de lactato. El método MLSS es la intensidad máxima de ejercicio que puede realizarse manteniéndose una cantidad constante de lactato en sangre con incrementos menores de ≤ 1 mM en 20 a 30 minutos de ejercicio con tasa de trabajo constante. El valor promedio obtenido en este tipo de método es aproximadamente 3.7 mM. Todos estos métodos son correlacionables con el umbral de lactato, pero de valores ligeramente diferentes. Al querer comparar estos diferentes resultados con el umbral ventilatorio (VT), uno puede observar un buen coeficiente de correlación. Sin embargo, las validaciones del umbral de lactato con el umbral ventilatorio han sido por lo general hechas con métodos de correlación intraclase, dejándonos la interrogante si realmente existe un adecuado coeficiente de correlación de concordancia entre ellos.(13) El Coeficiente de Correlación de Concordancia (CCC) provee no solo una medición de la magnitud del acuerdo entre ambos métodos, sino que también incluye el error sistemático y el aleatorio. Es por esta razón que este es considerado como una mejor herramienta para determinar la concordancia entre dos métodos diferentes.(14–17) Por medio del siguiente estudio se desea evaluar la correlación entre la medición del umbral ventilatorio mediante la ergoespirometría considerando una carga externa controlada y las pruebas de lactato en ciclistas profesionales.

Objetivos

General:

Evaluar la validez de los métodos de medición del umbral de lactato en una prueba incremental de ejercicio en cicloergómetro mediante el análisis de concordancia con la medición directa del umbral ventilatorio.

Específicos:

- 1) Evaluar la validez del método visual del análisis de lactato en comparación con el umbral ventilatorio.
- 2) Evaluar la validez del método Dmax para el análisis de lactato en comparación con el umbral ventilatorio.
- 3) Evaluar la validez del método de Inicio de la Acumulación de Lactato en Sangre (OBLA) en comparación con el umbral ventilatorio.
- 4) Evaluar la validez del método de Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS) con el umbral ventilatorio.

Material y método

Diseño

Estudio cuantitativo, retrospectivo, de validación diagnóstica.

Población:

Ciclistas profesionales de ruta de Colombia entre 18 a 31 años evaluados entre los años 2017 y 2018, en el área de Medicina del Deporte y Pruebas Especiales (MEDES) de la Escuela Nacional del Deporte de Cali, Colombia. Los deportistas deberán cumplir las siguientes características:

a) Criterios de inclusión

- 1) Ser ciclista profesional de ruta activo en competencias internacionales y/o nacionales.
- 2) Haber estado sanos al momento de la evaluación
- 3) Haber tenido entrenamiento de 3 días mínimo por semana, supervisada por un entrenador.
- 4) Haber sido evaluado mediante análisis de VO_2 y lactato en sangre en una prueba incremental en cicloergómetro dentro de un mismo protocolo controlado.

b) Criterios de exclusión

- 1) Ciclistas de ruta que hayan usado medicamentos que disminuyan o aumenten su rendimiento.
- 2) Ausencia de consentimiento informado.

Definición operacional de variables

Independientes

Edad: Variable continua, definida como tiempo de vida de un sujeto desde su nacimiento. Medida en años.

Sexo: Variable nominal, dicotómica definida como la condición biológica que distingue a los machos de las hembras. Medida en femenino y masculino.

Umbral ventilatorio: Variable continua, definida como el punto de quiebre en la curva de ventilación en la cuál la ventilación es mayor que el consumo de oxígeno. Medida en ml/kg/min en 2 puntos de curvas en un cartograma con las siguientes variables de intercambio de gases (11):

- Volumen de consumo oxígeno (VO_2)
- Volumen de dióxido de carbono expirado (V_{CO_2})
- Equivalentes ventilatorios (V_E/VO_2 y V_E/V_{CO_2})
- Presión final de gas expirados (P_{ETO_2} y P_{ETCO_2})

VO_2 máximo/ consumo máximo de oxígeno: Variable continua, definida como la meseta del consumo de oxígeno que no se eleva en más de 150 ml a pesar del transcurso de la carga cuando se alcanza un cociente respiratorio superior a 1.15, con incoordinación motora que no permite continuar con el ritmo de la carrera o potencia alcanzada.(18)

Dependientes

Lactato en sangre: Variable continua, definida como el valor de lactato registrado por el lactómetro. Se medirá en mMol/L.

Umbral de lactato (LT): Variable continua, definida como la tasa de trabajo o consumo de oxígeno en la que la concentración en sangre de esta aumenta rápidamente sobre los niveles de lactato en sangre basales. Se medirá con 4 métodos de análisis en mMol/L:

- a) Método visual, en la que se identificará el primer y segundo punto de quiebre de la curva de concentración de lactato en sangre en relación con una carga incremental de trabajo.
- b) Método Dmax, en la que se traza una línea entre el punto mínimo y máximo de una regresión curvilínea de tercer orden de la concentración de lactato en sangre en relación a una carga de trabajo. Una línea perpendicular a esta línea trazada nos dará el valor en el punto con la menor distancia posible.
- c) Método del Inicio de la Acumulación de Lactato en Sangre (OBLA), en la que ya se tiene un valor fijo de lactato en sangre como punto de acumulación de este. Se tomarán los 4 mMol/l punto fijo para este estudio por ser el de mayor uso en la literatura.
- d) Método de Máximo Estado Estable de Lactato (MLSS), definido como el valor de lactato en sangre en al menos 20 minutos, sin aumento de la concentración de lactato en más de 1 mMol/l durante una carga de trabajo constante.(9)

Procedimientos y técnicas:

Se analizará la información de la población de ciclistas de ruta profesionales de la base de datos del 2017 y el 2018 del área de Medicina del Deporte y Pruebas Especiales (MEDES) de la Escuela Nacional del Deporte de Cali, Colombia que cumplan los criterios de inclusión y exclusión y cuyo protocolo de estudio este de acuerdo con las siguientes características (18):

- Que haya existido calibración adecuada del cicloergómetro, con verificación de humedad y temperatura del ambiente.
- Conste de un calentamiento con cadencia entre 60 - 80 rpm (revoluciones por minuto) y una resistencia de 50 Watts (W) durante 2 a 3 minutos.
- Primera carga ergométrica de 100 W.
- Incrementos progresivos de carga entre 20-30 W para mujeres y 30-40 W para hombres cada minuto hasta que se finalice la prueba por fatiga central o periférica, aparición de síntomas y/o decisión del participante.
- Que se hayan tomado pruebas de lactato cada tres minutos después de la primera carga ergométrica.

Se registrarán los datos demográficos y los valores de umbral ventilatorio y de umbral de lactato de diversas en base a los métodos mencionados de cada atleta, además de la marca del cicloergómetro, el ergoespirómetro y los medidores de lactato empleados para cada protocolo.

Aspectos éticos del estudio:

El protocolo será presentado al Comité de Ética de la Universidad Cayetano Heredia. Al ser un estudio de carácter retrospectivo se considera de riesgo mínimo. Sin embargo, se buscará que aquellos que han participado en el proyecto hayan llenado su consentimiento informado antes de poder ser considerados como parte del estudio.

Plan de análisis

Los datos demográficos, valores umbrales máximos de VO_2 y valores umbrales de lactato serán analizados de manera descriptiva por métodos estándares para el cálculo de medias, desviaciones estándares (SD) e intervalos de confianza de 95%. La validez será evaluada mediante el uso de medidas repetidas en un solo sentido de ANOVA seguidos de comparaciones pareadas (ajuste de Bonferroni). La comparación entre la prueba estándar de VO_2 y los 4 métodos de análisis de lactato serán analizados por medio de un gráfico de Bland-Altman para la comparación visual de los resultados. Se determinará el Coeficiente de Correlación Intraclase para luego usar el Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin para valorar la concordancia entre los diversos métodos. Para un valor estadísticamente significativo se considerará un $p < 0.05$. (15)

Para el análisis se hará uso del software SPSS 19.0 (SPSS, Chicago, IL)

Bibliografía

1. Scharhag-Rosenberger F, Walitzek S, Kindermann W, Meyer T. Differences in adaptations to 1 year of aerobic endurance training: Individual patterns of nonresponse. *Scand J Med Sci Sport*. 2012;22(1):113–8.
2. Ross RM, Beck KC, Casaburi R, Johnson BD, Marciniuk DD, Wagner PD, et al. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing (multiple letters). *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167(10):1451.
3. Strasser B, Burtscher M. Survival of the fittest: VO₂max, a key predictor of longevity? *Front Biosci - Landmark*. 2018;23(8):1505–16.
4. Watson A, Brickson S, Brindle J, Allee T, Sanfilippo J. Pre-season aerobic fitness is an independent predictor of in-season injury risk in collegiate athletes. *Clin J Sport Med*. 2015;25 (2):186.
5. Watson A, Brickson S, Brooks MA, Dunn W. Preseason Aerobic Fitness Predicts In-Season Injury and Illness in Female Youth Athletes. :1–7.
6. Murphy DF, Connolly DAJ, Beynon BD. Factors for Lower Extremity Injury: a Review of the Literature. *Br Med* doi101136bjsm37113. 2003;37 SRC-:13–29.
7. Horta TAG, Bara Filho MG, Coimbra DR, Miranda R, Werneck FZ. Training Load, Physical Performance, Biochemical Markers, and Psychological Stress During A Short Preparatory Period in Brazilian Elite Male Volleyball Players. *J Strength Cond Res*. 2017;1.
8. Wolpern AE, Burgos DJ, Janot JM, Dalleck LC. Is a threshold-based model a superior method to the relative percent concept for establishing individual exercise intensity? a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2015;7(1):16.
9. Faude O, Kindermann W, Meyer T. Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sport Med*. 2009;39(6):469–90.
10. Brooks GA. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sport Exerc*. 1986;Jun 18 (3):360–8.
11. Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, Vanhees L, Saner H, et al. Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *Eur J Prev Cardiol*. 2008;15(6):726–34.
12. Goodwin ML, Harris JE, Ed M, Hernández A, Gladden LB, Ph D. Blood Lactate Measurements and Analysis during Exercise : *J Diabetes Sci Technol*. 2007;1(4):558–69.
13. Pallarés JG, Morán-Navarro R, Ortega JF, Fernández-Elías VE, Mora-Rodríguez R. Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLoS One*. 2016;11(9):1–16.
14. Liao JJ, Lewis JW. A note on concordance correlation coefficient. *PDA J Pharm Sci Technol*. 2000;54(1):23–6.
15. Lin I. Assay Validation Using the Concordance Correlation Coefficient Author(s): Lawrence I-Kuei Lin Source: 2015;48(2):599–604.
16. Lin LI. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility Author

(s): Lawrence I-Kuei Lin Published by : International Biometric Society Stable;
1989;45(1):255–68.

17. Cabrera Hernández MA, Tafur Tascon LJ, Cohen DD, García-Corzo SA, Quiñonez Sánchez A, Povea Combariza C, et al. Concordance between the indirect $\dot{V}O_2\text{max}$ value estimated through the distance in Yo-Yo intermittent recovery test level 1 and the direct measurement during a treadmill protocol test in elite youth soccer players. *J Hum Sport Exerc - 2018 - Spring Conf Sport Sci.* 2018;13(April):26–8.
18. Roa MS, Galeano EE, Deportivo L, Chaparro IA, Herrera R, Salamanca A, et al. *Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en Medicina.* Bogotá, DC; 2015.

Presupuesto y cronograma

Descripción de los gastos de personal				
Investigador	Función dentro del proyecto	Valor hora (PEN)	Dedicación (horas/proyecto)	Total proyecto
Investigador Principal	Creación del protocolo. Recolección de información. Análisis de la información. Redacción de resultados.	20	60	1200
Asesor temático y metodológico.	Idea de investigación. Revisión del protocolo. Revisión de resultados.	80	8	640
Epidemiólogo	Asesoría para análisis de la información.	80	4	320
Asesor estadístico externo	Asesoría estadística	60	10	600
Sub-total				2760
Descripción de los equipos y software				
Equipo	Justificación	Total proyecto		
Programas Word, Excel, SPSS	Tabulación de datos y realización del protocolo	100		
Computador (uno)	Realización de protocolo, tabulación de la información	50		
Sub-total				150
Materiales, suministros y bibliografía				
Materiales	Justificación	Total proyecto		
Impresiones.	Impresión de: Protocolo, material bibliográfico, artículo.	50		
Internet (120 horas)	Bibliografía, búsqueda de artículos, actualización	100		
Sub-total				150
Otros				
Tipo de servicio	Justificación	Valor		
Encuadernación del trabajo	Presentación del documento	30		
Transporte	Traslado a centro asistencial (lugares de trabajo).	500		
Imprevistos	Imprevistos	400		
Sub-total				930
Total				3990

Cronograma

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Planteamiento pregunta de investigación							
Redacción protocolo							
Aprobación por Comité de Ética							
Recolección de datos							
Análisis de la información							
Publicación de resultados							

Anexos

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS									
No Sujeto	Edad (años)	Sexo	H	M	VE/VO2	Fecha	PETCO ₂	PETO ₂	PETCO ₂
PROTOCOLO	Potencia/ cadencia	Lactato en sangre (mMol/L)	VO ₂ (ml/kg/min)	VCO ₂ l/min	RER	VE/VCO ₂	PETCO ₂	PETO ₂	PETCO ₂
Reposo									
Calentamiento									
Etapas 1	50W /								
Etapas 2	100W /								
Etapas 3									
Etapas 4									
Etapas 5									
Etapas 6									
Etapas 7									
Etapas 8									
Recuperación 1									
Recuperación 3									
Recuperación 5	Pasivo								