Research

Utilización de una Regresión Logarítmica para Identificar el Umbral de Frecuencia Cardíaca en Ciclistas

Frank B Wyatt[1], Jason P McCarthy[4], James Heimdal[1], Selena Godoy[2] y Lance Autrey[3]

[1]*Louisiana Tech University, Department of Health and Exercise Sciences, Ruston, Louisiana 71272.*
[2]*University of North Texas Health Science Center, Department of Integrative Physiology, Ft. Worth, Texas 76107*
[3]*Baylor University, Department of Health, Human Performance and Recreation, Waco, Texas 76798.*
[4]*Guidant Corporation, Electrophysiology, Indianapolis, Indiana 46204.*

RESUMEN

El propósito de este estudio fue establecer un método objetivo para identificar el umbral de frecuencia cardíaca (HRT) en ciclistas. Cincuenta y seis ciclistas varones fueron evaluados utilizando un cicloergómetro con un test hasta el agotamiento. Para la identificación del HRT se utilizó el incremento de la frecuencia cardíaca por encima de la línea de mejor ajuste de la regresión logarítmica, conjuntamente con el punto de cruce de la línea de mejor ajuste de la regresión lineal. Las mediciones de la VCO_2 y del lactato sanguíneo al umbral ventilatorio (VT) y al umbral de lactato (HLaT), respectivamente, fueron utilizados como mediciones de criterio para validar la HRT. Las comparaciones de los valores de la HRT con el VT y la HLaT mostraron asociaciones significativas (r=0.98). La varianza estadística entre la HRT, la VT y la HLaT no indicó diferencias. A partir de estos hallazgos, el método de regresión logarítmica provee una forma objetiva de determinar la HRT. A través de este método, los ciclistas pueden obtener información para establecer con precisión niveles y protocolos de entrenamiento.

Palabras Clave: miocardio, vagal, parasimpático, mataboreceptor

INTRODUCCION

El punto al cual una variable fisiológica exhibe un cambio desproporcionado (incremento o reducción) en respuesta a un estímulo proporcional es conceptualizado como el umbral fisiológico de la variable (8). Dos variables de la respuesta al ejercicio, la ventilación y el lactato sanguíneo, exhiben un umbral fisiológico al cual se incrementan desproporcionadamente en respuesta a un incremento proporcional en la carga de trabajo durante un test progresivo de ejercicio (15). El vínculo causal entre el umbral ventilatorio (VT) y el umbral del lactato (HLaT), en base a los conceptos fisiológicos, fue verificado experimentalmente en ciclistas (22) y confirmado con la realización de un estudio meta-analítico realizado con numerosas investigaciones (28). Debido a los avances en la tecnología para la medición de los gases respiratorios, la adquisición de datos y la manipulación de datos mediante programas de algoritmos (9, 10, 18, 21), la determinación repetitiva del VT y del HLaT y sus mecanismos fisiológicos ahora están bien establecidos (2, 25). Asimismo,

el vínculo con el índice de esfuerzo percibido de un individuo ha sido verificado (19) y actualmente es utilizado para el entrenamiento de atletas competitivos (13) y recreacionales (7), como así también en programas para la rehabilitación cardíaca (12).

Se ha propuesto que el umbral de frecuencia cardíaca (HRT) es otro umbral fisiológico que tiene una función similar y que está vinculado al VT. En general, los métodos para la detección del HRT han dependido principalmente del análisis de regresión de la respuesta de la frecuencia cardíaca a incrementos progresivos en la carga de trabajo durante tests máximos de ejercicio, sin establecer primero la utilización del análisis de regresión sobre la fisiología subyacente.

Se ha establecido que el incremento en la frecuencia cardíaca a partir del reposo hasta aproximadamente los 100 latidos por minuto (latidos/min) es mediado por la reducción vagal (4) y la tasa de cambio del intervalo del pulso es descrita matemáticamente como una función que se ajusta mejor a una regresión curvilínea logarítmica (14). Los incrementos en la frecuencia cardíaca por encima de los 100 latidos minutos son mediados principalmente por los incrementos en la actividad simpática (4) y las reducciones en el intervalo del pulso son mejor descritas mediante el ajuste de la regresión lineal de la respuesta de la frecuencia cardíaca. Por lo tanto, a medida que la progresión en la tasa de trabajo se incrementa desde el comienzo del ejercicio hasta los más altos niveles de esfuerzo, la respuesta de la frecuencia cardíaca es inicialmente curvilínea, seguida por una respuesta más lineal, respectivamente. Durante un test de ejercicio con cargas progresivas, los eventos metabólicos intramusculares resultan en un desequilibrio entre el *clearance* y la producción de lactato (5), lo cual resulta en que el HLaT se produzca concurrentemente con el VT (28). Con esta carga de trabajo se produce una activación desproporcionada de los reflejos presores y se produce un incremento adicional en la actividad neural simpática (17) y, por lo tanto, un incremento en la frecuencia cardíaca. Nosotros planteamos la hipótesis acerca de que en ese momento, el incremento en la influencia simpática sobre el intervalo del pulso, expresado por la gran pendiente de la recta de regresión, se intersectaría con la expresión logarítmica del incremento inicial en la frecuencia cardíaca con una pequeña pendiente, que refleja la reducción parasimpática, proveyendo una determinación consistente del HRT. Esta intersección podría proporcionar un método para la determinación del HRT en base a las reacciones fisiológicas que se producen con el incremento en la tasa de trabajo. El propósito de este estudio es establecer una metodología objetiva para la detección de la frecuencia cardíaca y determinar la validez del HRT a través de su asociación con los otros umbrales fisiológicos.

METODOS

Enfoque Experimental al Problema

Sujetos

Valores de Reposo

Cincuenta y seis varones ciclistas clasificados como con una alta aptitud cardiorrespiratoria (6) fueron voluntarios para participar como sujetos en este estudio. Los ciclistas competían como amateurs y estaban clasificados por la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos como pertenecientes a las Categorías 1 a 5. Antes de las evaluaciones, todos los sujetos firmaron un formulario de consentimiento informado aprobado por el Comité de Revisión Interna de la Universidad y completaron cuestionarios médicos y de aptitud física para su posterior inclusión en el estudio. Antes de la realización de los tests de ejercicio se obtuvieron los valores de reposo para la frecuencia cardíaca, la presión sanguínea, la talla, el peso y la grasa corporal.

Protocolo de Evaluación

Cada sujeto realizó un test máximo en cicloergómetro utilizando el protocolo modificado de Astrand. Esto implicó pedalear a una carga prescrita comenzando a 50 W e incrementando la carga en 50 W cada 2 minutos hasta el agotamiento (16). Los coeficientes de confiabilidad para los protocolos de la cicloergometría utilizando etapas de 2 a 4 minutos fueron altamente aceptables con un coeficiente r=0.87 o mayor (1, 16). La frecuencia cardíaca se midió latido por latido y se promedió cada 20 segundos utilizando una unidad telemétrica bipolar. Las mediciones ventilatorias y de los gases fueron obtenidas respiración por respiración y fueron promediadas cada 20 segundos, utilizando un sistema abierto de espirometría. El promedio de estas mediciones fue llevado a cabo para suavizar las fluctuaciones de los datos de manera de clarificar el análisis de la ocurrencia de los umbrales. Las mediciones realizadas con el análisis de gases incluyeron, pero no estuvieron limitadas, a las siguientes: consumo de oxígeno (VO_2), producción de dióxido de carbono (VCO_2) y volumen ventilatorio espirado (VE). Las mediciones adicionales tomadas para comparar la eficacia en la determinación del HRT incluyeron el lactato sanguíneo y la producción de potencia. El lactato sanguíneo total fue obtenido mediante la extracción de 10 µL de

sangre de la yema del dedo en cada carga de trabajo, la cual fue analizada por medio de la técnica de fotometría de reflexión con una longitud de onda de 657 nm a través de la reacción colorimétrica del mediador lactato-oxidasa.

Identificación del Umbral

Las variables fisiológicas (i.e., frecuencia cardíaca, lactato, ventilación) fueron graficadas contra 2 unidades estándar, tiempo y VO_2, para determinar los puntos del umbral. Se utilizaron tres métodos diferentes para la determinación de los umbrales fisiológicos específicos:

1. VT: el método de la pendiente V utilizando el VCO_2 y el VO_2 como determinantes del umbral. Este método señala el umbral como el punto en el cual el VCO_2 se disocia del VO_2 (3).
2. HLaT Sanguíneo: Para determinar el HLaT se utilizó el incremento exponencial en el lactato sanguíneo. Este método señala el umbral como el punto previo al incremento exponencial en la concentración venosa de lactato, determinada mediante el análisis del punto de ruptura en la regresión exponencial con el uso de un programa de computadora (SPSS Regression Model, Chicago, IL) (5, 11).
3. HRT: Para la detección de HRT se utilizó el análisis de regresión logarítmico utilizando el punto en el cual los datos medidos excedían consistentemente la recta de mejor ajuste y cruzaban sobre la recta de mejor ajuste de la regresión lineal. Aunque con este método se utilizaron análisis estadísticos de regresión, estos fueron utilizados con el propósito de detección y no con el propósito de predicción. Por lo tanto, no se proporcionan ecuaciones de predicción.

Análisis Estadísticos

La estadística descriptiva incluyó el cálculo de las medias y los errores estándar (EE). Para determinar el HRT se utilizó un análisis de regresión logarítmico en combinación con un análisis de regresión lineal. Se realizaron análisis del coeficiente de correlación producto momento de Pearson para determinar las asociaciones entre los umbrales (i.e., HRT, LT y VT) expresados como el VO_2 absoluto. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) aleatorio con comparaciones de Scheffé para determinar si los umbrales al VO_2 absoluto diferían significativamente. Los análisis de la fortaleza del diseño indican que un n de 56 sujetos proporciona una alta fortaleza (>0.9; Ref. 24). La significancia estadística fue establecida a priori a $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

La información demográfica de los sujetos se resume en la Tabla 1. Los valores medios para los umbrales se presentan en la Tabla 2. No se hallaron diferencias significativas entre los puntos de ocurrencia para el HRT, el HLaT o el VT en el VO_2. Los coeficientes de correlación indicaron asociaciones estadísticamente significativas ($p<0.01$) entre el HRT utilizando el método de regresión logarítmico y las mediciones de criterio del VT ($r=0.98$) y del HLaT ($r=0.99$) en 53 de los 56 sujetos (95%). La potencia estadística de este tamaño de la muestra y los coeficientes de correlación indican una alta validez de criterio concurrente con el método de regresión logarítmico para la detección del HRT (24). La Figura 1a-c representa las asociaciones entre el HRT y las mediciones de criterio del HLaT y del VT utilizando el VO_2 como unidad común de medida. Los 3 sujetos en los cuales no se pudo identificar el HRT tuvieron perfiles de frecuencia cardíaca que no excedieron la línea de mejor ajuste de la regresión logarítmica.

Variable	Media ± EE
Talla (cm)	177.9 ± 1.4
Peso (kg)	76.3 ± 1.4
Edad (años)	29.1 ± 1.5
VO_2 máx. ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$)	56.4 ± 1.2

Tabla 1. *Características de los sujetos.*

Nombre del Umbral	VO_2 en el Umbral
Umbral de Frecuencia Cardíaca	3.87 ± 0.19
Umbral Ventilatorio	3.94 ± 0.19
Umbral de Lactato	4.54 ± 0.35

Tabla 2. *Valores de los umbrales en medias ± DE. Nota: no se hallaron diferencias significativas*

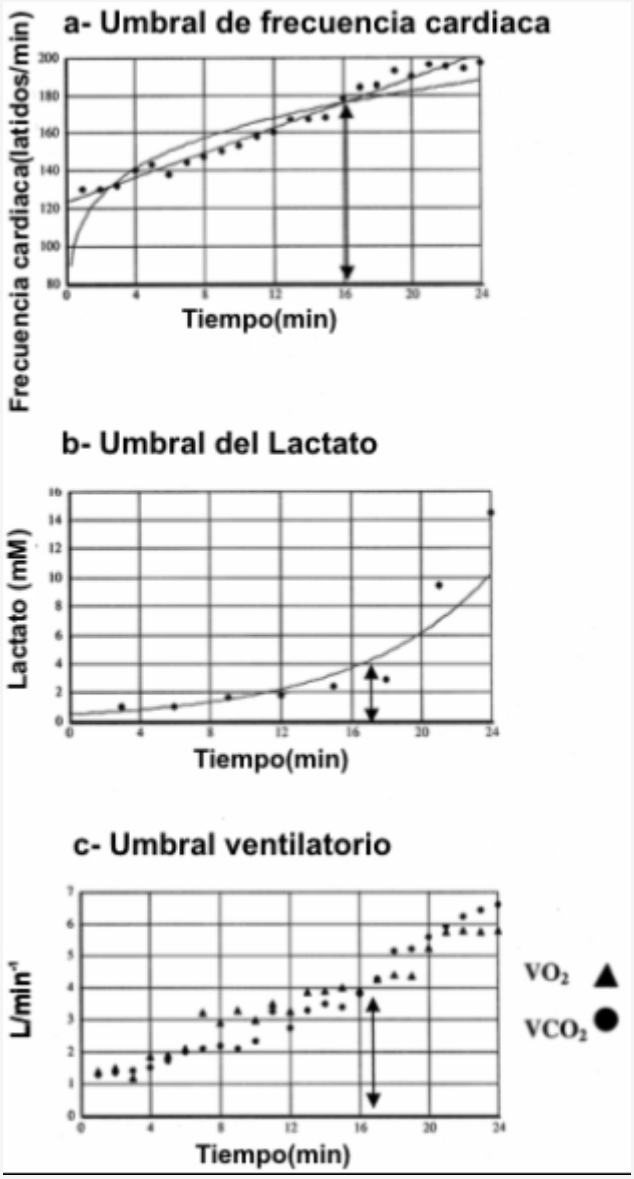

Figura 1. *Comparación de los umbrales (a) umbral de frecuencia cardíaca; (b) umbral de lactato; (c) umbral ventilatorio*

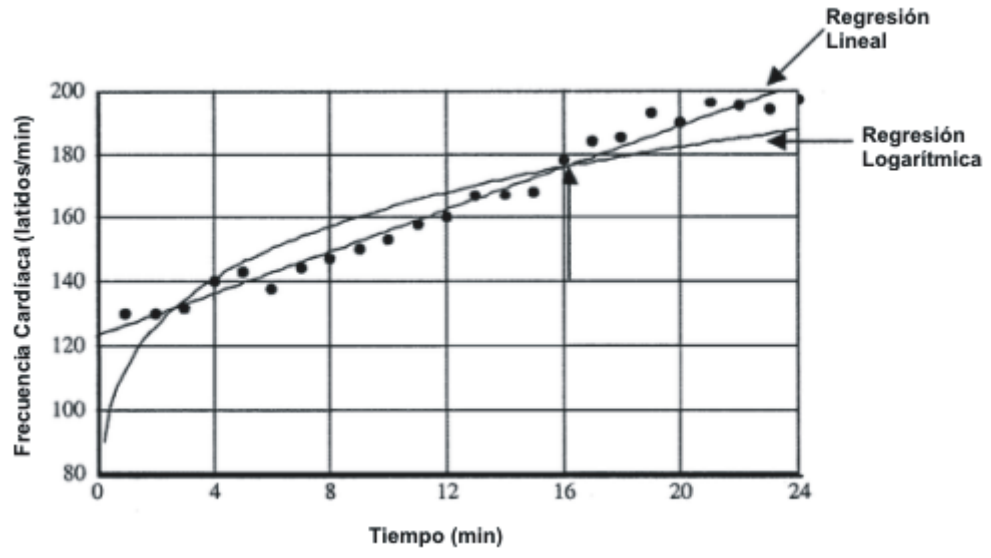

Figura 2. *Recta de mejor ajuste de la regresión logarítmica y respuesta de la frecuencia cardíaca. Nota: la flecha vertical indica el umbral de frecuencia cardíaca por el método de regresión logarítmica. Nota: la Flecha vertical indica el umbral de frecuencia cardíaca por el método de regresión logarítmica*

DISCUSION

El presente estudio demostró que el HRT puede ser determinado confiablemente utilizando el método de detección de regresión logarítmica. Con este método, el HRT se observa cuando la frecuencia cardíaca se incrementa a través de la influencia metabólica periférica sobre la descarga simpática hacia el miocardio. Esto es indicado por lo puntos que exceden la recta de mejor ajuste de la regresión logarítmica intersectando en forma concomitante la recta de mejor ajuste de la regresión lineal. Además, el análisis de la asociación de las mediciones de criterio de las variables ventilatorias y del HLaT provee un criterio concurrente de validez al método de regresión logarítmico para la detección del HRT (24).

Investigaciones previas acerca de la detección del HRT han vacilado entre el incremento y la reducción en la frecuencia cardíaca en el umbral. Esto se debió principalmente a que la determinación del umbral no estuvo basada en los mecanismos fisiológicos sino más bien en indicadores matemáticos de la tasa de cambio. Aunque nosotros también utilizamos técnicas de regresión para la detección del HRT, nosotros elegimos nuestro método de detección en relación al interjuego entre la influencia parasimpática y simpática sobre la respuesta del miocardio. A partir de esto, determinamos que el cambio desproporcionado en la frecuencia cardíaca, o HRT, era indicado por el incremento en la frecuencia cardíaca. Esta indicación se basa en las influencias fisiológicas sobre el corazón con el incremento en la tasa de trabajo.

Con el comienzo del ejercicio, la frecuencia cardíaca se incrementa inicialmente en forma curvilínea, como resultado de la reducción parasimpática conjuntamente con el incremento en la descarga simpática (4). Esta respuesta al comienzo del ejercicio ha sido descripta como un estallido morfológico (20) como es evidenciado por la recta de mejor ajuste de la regresión logarítmica que indica un mayor valor residual al comienzo del ejercicio (4). Los incrementos adicionales en la frecuencia cardíaca son mediados a través de un interjuego complejo entre las influencias de los barorreceptores, los quimiorreceptores y los metaborreceptores sobre la estimulación simpática (16).

Más allá del comienzo del ejercicio, los aferentes químicos sensibles (i.e., reflejo presor) dentro del músculo provocan la estimulación del sistema neural simpático. Se cree que este incremento en el HRT es principalmente el resultado del incremento en la descarga simpática causada por el incremento en la estimulación aferente directa provocada por la acumulación de metabolitos. Esto se ha descrito como un metaborrelejo (16, 17). La Figura 2 muestra un ejemplo de la respuesta de la frecuencia cardíaca en un sujeto ante un incremento en la carga de trabajo. Se observa que la respuesta curvilínea tiene lugar durante las etapas tempranas del ejercicio, y es seguida por una respuesta en forma lineal. Si la frecuencia cardíaca mantuviera un incremento lineal con el incremento en la tasa de trabajo, los datos seguirían esta línea logarítmica de mejor ajuste. Por lo tanto, por la definición de umbral, el HRT ocurre cuando la frecuencia cardíaca se incrementa desproporcionadamente, lo cual es indicado por los puntos que exceden la línea logarítmica de mejor ajuste.

Para fortalecer los presentes criterios de validez de este método, el HRT debe ser asociado con otros umbrales fisiológicos. Utilizando el VO_2 absoluto como una unidad estándar de medición para la comparación, el HRT fue comparado con el VT y el HLaT. Los coeficientes de correlación indicaron una asociación extremadamente alta entre los umbrales. Asimismo, el análisis de varianza ANOVA utilizado para determinar la varianza entre los umbrales a un VO_2 absoluto no indicó diferencias estadísticamente significativas. En la Figura 1a-c se puede observar que el nivel de trabajo con el consumo de oxígeno en el umbral es consistente entre las variables y entre los métodos de detección de los umbrales. Las asociaciones respecto de la ocurrencia de los umbrales entre el HRT y las mediciones de criterio del HLaT y del VT pueden explicarse fisiológicamente.

A medida que se incrementa la tasa de trabajo, hay un incremento en la producción metabólica de dióxido de carbono (CO_2) y de iones hidrógeno (H^+) (6). Estos metabolitos continúan acumulándose con el incremento en la tasa de trabajo, debido a que su tasa de aparición excede la tasa de desaparición (5, 6). Los cambios en la química sanguínea asociados con el H^+ y el CO_2 resultan en reducciones en el pH sanguíneo, estimulando las respuestas de los quimiorreceptores de la carótida y de la aorta hacia el centro respiratorio en la médula (26). Además, hay una señal periférica adicional proveniente de los tejidos activos que resulta de la disminución del pH provocada por el metabolismo en el intersticio muscular, que produce un reflejo de hiperpnea (23, 27). El transporte hipocápnico de CO_2 que resulta de la hiperventilación, reduce la descarga parasimpática hacia el miocardio, y, conjuntamente con el incremento en la descarga simpática, acelera la despolarización del nodo sinoauricular, facilitando el efecto cronotrópico del miocardio (4). Por último, el flujo metabólico hacia el intersticio muscular durante la realización de ejercicios de alta intensidad estimula las vías aferentes sensibles a los químicos, lo cual incrementa la activación neural simpática y provoca el incremento en la frecuencia cardíaca (16, 27). A medida que se incrementa la tasa de trabajo, la tasa de descarga en las variables medidas (i.e., lactato y VO_2) se vuelve desproporcionada, derivando en la identificación de estos umbrales fisiológicos. El hecho de que el HLaT, el VT y el HRT ocurran al mismo VO_2 sugiere que existe una conexión fisiológica entre los 3 umbrales. En conclusión, esta metodología permite identificar consistentemente el HRT y parece válida, debido a sus asociaciones estadísticas y fisiológicas con otros umbrales conocidos.

Aplicaciones Prácticas

La identificación de un umbral indica el nivel de máximo estado estable, más allá del cual, los índices de fatiga se puede percibir rápidamente (16). Aunque el HLaT y el VT son umbrales ampliamente aceptados, la obtención de estas mediciones no es fácil para muchos atletas. Sin embargo, el monitoreo de la frecuencia cardíaca a través de dispositivos electrónicos telemétricos durante el entrenamiento y la competencia se ha vuelto una práctica común entre los atletas de resistencia. Sin embargo, el HRT ha sido objeto de frecuentes escrutinios. Los resultados conflictivos respecto del HRT cuestionan la confiabilidad de los cambios no lineales y su valides comparativa con otros umbrales más aceptados. Los hallazgos del presente estudio y la evidencia del rol de la acumulación de lactato sobre la fatiga proveen evidencia de que la medición no invasiva del umbral está garantizada. Debido a que la muestra del presente estudio consistió de ciclistas clasificados por la USCF en categoría Categoría 1 a 5, puede especularse que este método podría aplicarse a individuos que caen dentro de esta población demográfica. Asimismo, debido a que los métodos de regresión utilizados en la detección del HRT fueron realizados en base a las reacciones fisiológicas con el incremento en la tasa de trabajo, puede sugerirse que este método puede ser aplicable a sujetos con menor nivel de aptitud física o en aquellos involucrados en otras actividades deportivas (i.e., carreras). Sin embargo, se necesitan más investigaciones en esta área para respaldar tales afirmaciones. A partir de los resultados de este estudio, los ciclistas de diferentes niveles competitivos pueden utilizar este método como una forma objetiva para la detección del HRT.

Agradecimientos

Queremos agradecer al Dr. Peter B. Raven, del University of North Texas Health Science Center, Fort Worth, Texas, por las ideas dadas en base a nuestros resultados.

Dirección para el Pedido de Reimpresiones y otra Correspondencia

Dr. Frank B. Wyatt, correo electrónico: frank.wyatt@mwsu.edu

REFERENCIAS

1. Adams, G.M (1998). Exercise Physiology Laboratory Manual (3rd ed.). *St. Louis: WCB McGraw-Hill Publishers*
2. Beaver, W.L., K. Wasserman, and B.J. Whipp (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log

transformation. *J. Appl. Physiol. 59:1936–1940*
3. Beaver, W.L., K. Wasserman, and B.J. Whipp (1985). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol. 60:2020–2027*
4. Berne, R.M., and M.N. Levy (1992). Cardiovascular Physiology (6th ed). *St. Louis: Mosby Year Book Publishers*
5. Brooks, G.A (1985). Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sports Exer. 17:22–31*
6. Brooks, G.A., T.D. Fahey, T.P. White, and K.M. Baldwin (2000). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications (3rd ed). *Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company*
7. Bunc, V.J., P. Hofmann, H. Leitner, and G. Gaisl (1995). Verification of the heart rate threshold. *Eur. J. Appl. Physiol. 70:263–269*
8. Cheng, B., H. Kuipers, A.C. Snyder, H.A. Keizer, A. Jeukendrup, and M. Hesselink (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int. J. Sports Med. 13:518–522*
9. Fukuba, Y., M. Munaka, S. Usui, and H. Sasahara (1988). Comparison of objective methods for determining ventilatory threshold. *Japan. J. Physiol. 38:133–144*
10. Gaskill, S.E., B.C. Ruby, A.J. Walker, O.A. Sanchez, R.C. Serfass, and A.S. Leon (2001). Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med. Sci. Sports Exer. 33:1841–1848*
11. Hofmann, P., V. Bunc, H. Leitner, and G. Gaisl (1994). Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol. 69:132–139*
12. Hofmann, P., R. Pokan, K. Preidler, H. Leitner, D. Szolar, B. Eber, and G. Schwaberger (1994). Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. *Int. J. Sports Med. 15:232–237*
13. Hoogeveen, A.R., G. Schep, and J. Hoogsteen (1999). The ventilatory threshold, heart rate, and endurance performance: Relationships in elite cyclists. *Int. J. Sports Med. 20:114–117*
14. Javorka, M., I. Zila, T. Balharek, and K. Javorka (2003). On- and off-responses of heart rate to exercise-relations to heart rate variability. *Clin. Physiol. Func. Imag. 23:1–8*
15. Knight-Malony, M., R.A. Robergs, A. Gibson, and F. Ghiasvand (2002). Threshold changes in blood lactate, beat-to-cardiovascular function, and breath-by-breath VO2 during incremental exercise. *J. Appl. Physiol. (online). 5:39–53*
16. McArdle, W.D., F.I. Katch, and V.L. Katch (2001). Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance (5th ed). *Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins Publishers*
17. Oelberg, D.A., A.B. Evans, M.I. Hrovat, P.P. Pappagianopoulos, S. Patz, and D.M. Systrom (1998). Skeletal muscle chemoreflex and pH in exercise ventilatory control. *J. Appl. Physiol. 84:676–682*
18. Orr, G.W., H.J. Green, R.L. Hughson, and G.W. Bennett (1982). A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol. 52:1349–1352*
19. Perry, S.R., T.J. Housh, G.O. Johnson, K.T. Ebersole, and A.J. Bull (2001). Heart rate and ratings of perceived exertion at the physical working capacity at the heart rate threshold. *J. Strength Cond. Res. 15:225–229*
20. Roach, D., R. Haennel, M.L. Koshman, and R. Sheldon (1999). Origins of heart rate variability: Relationship of heart rate burst morphology to work duration and load. *Amer. J. Physiol. 277:H1491–H1497*
21. Sherrill, D.L., S.J. Anderson, and G. Swanson (1990). Using smoothing splines for detecting ventilatory thresholds. *Med. Sci. Sports Exer. 22:684–689*
22. Simon, J., J.L. Young, D.K. Blood, K.R. Segal, R.B. Case, and B. Gutin (1986). Plasma lactate and ventilation thresholds in trained and untrained cyclists. *J. Appl. Physiol. 60:777–781*
23. Smith, S.A., K.M. Gallagher, K.H. Norton, R.G. Querry, R. M Welch-O'Connor, and P.B. Raven (1999). Ventilatory responses to dynamic exercise elicited by intramuscular sensors. *Med. Sci. Sports Exer. 31:277–286*
24. Thomas, J.R., and J.K. Nelson (1996). Research Methods In Physical Activity (3rd ed). *Champaign, IL: Human Kinetics Publishers*
25. Tokmakidis, S.P., and L.A. Leger (1992). Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate (threshold) points and relationship with performance. *Eur. Appl. Physiol. Occu. Physiol. 64:309–317*
26. Whipp, B.J (1994). Peripheral chemoreceptor control of exercise hyperpnea in humans. *Med. Sci. Sports Exer. 26:337–347*
27. Williamson, J.W., P.B. Raven, B.H. Foresman, and B.J. Whipp (1993). Evidence for intramuscular ventilatory stimulus during dynamic exercise in man. *Resp. Physiol. 94:121–135*
28. Wyatt, F.B.I (1991). Comparison of lactate and ventilatory threshold to maximal oxygen consumption: A meta-analysis. *J. Strength Cond. Res. 13:67–71*

Cita Original

Wyatt, F., S. Godoy, L. Autrey, J. McCarthy, and J. Heimdal. Using a logarithmic regression to identify the heart-rate threshold in cyclists. J. Strength Cond. Res. 19 (4): 838–841. 2005.