

Monograph

La Frecuencia Respiratoria es un Marcador Válido y Confiable del Umbral Anaeróbico: Implicaciones para Medir Cambios en la Aptitud Física

Daniel G Carey¹, Leslie A Schwarz¹, German J Pliego² y Robert L Raymond²

¹*Health and Human Performance*

²*Quantitative Methods and Computer Science, University of St. Thomas, St. Paul, Minnesota, USA.*

RESUMEN

El umbral anaeróbico (AT) ha sido definido teóricamente como la mayor intensidad de ejercicio que puede mantenerse por períodos de tiempo prolongados. Su importancia práctica para atletas de resistencia competitivos reside en la medición del progreso en el rendimiento y para diseñar programas de entrenamiento. El objetivo principal de este estudio fue valorar la confiabilidad y validez del punto de quiebre en la frecuencia respiratoria (RR) determinado durante un test de ejercicio progresivo como marcador del AT. Los objetivos secundarios fueron: (1) valorar la confiabilidad del umbral ventilatorio (VE) y del punto de quiebre en el umbral ventilatorio (VE/VO₂), y (2) valorar las diferencias en estos 3 métodos respecto de su potencial para valorar cambios en la aptitud física, a través del error estándar de medición (EEM), el coeficiente de variabilidad (CV), y el coeficiente de correlación (r). Para esto, quince ciclistas competitivos de sexo masculino (5 de categoría II, 6 de categoría III, 1 de categoría IV y 3 de categoría V, de la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos), completaron 2 test para la medición del consumo máximo de oxígeno en el período de una semana en un cicloergómetro con cupla electromagnética. Los resultados del análisis de varianza ANOVA 2 × 3 (tests y métodos) mostraron que no hubieron diferencias significativas ($F = 0.02$, $p = 0.978$), indicando que: (1) los tres métodos son reproducibles, y (2) el RR, en comparación con el VE y el VE/VO₂, es un método válido para valorar el umbral anaeróbico. Los menores valores de EEM, CV y el mayor r fueron obtenidos con el método del VE (EEM = 19.4 watts, CV = 6.7%, $r = 0.872$), con comparación los métodos VE/VO₂ (EEM = 21.5 watts, CV = 7.4%, $r = 0.811$) y RR (EEM = 35.3 watts, CV = 12.2%, $R = 0.800$). A partir de los resultados de este estudio se concluyó que el método de medición de la RR es un método válido y confiable para detectar el AT. Sin embargo, debido a su relativamente alto EEM y CV, y bajo r, en comparación con los métodos VE y VE/VO₂, su poca sensibilidad para detectar pequeños cambios en atletas con un alto nivel de aptitud física podría contraindicar su uso para medir cambios en el AT. Al parecer los métodos VE y VE/VO₂ podrían ser más apropiados para medir cambios en el AT en atletas con un alto nivel de aptitud física.

Palabras Clave: confiabilidad, validez, error estándar de medición, coeficiente de variación

INTRODUCCION

La utilización del umbral anaeróbico (AT) para valorar la aptitud física, medir el progreso en el entrenamiento y para predecir el rendimiento, está bien documentada. Si bien el máximo estado estable de lactato (MLSS) es considerado el "Gold Standard" para la valoración del AT (Aunola and Rusko, 1992), diversos parámetros ventilatorios tales como la ventilación (VE) (Yamamoto et al., 1991), el equivalente ventilatorio para el oxígeno (VE/VO₂) (Amann et al., 2004; Caiozzo et al., 1982; Hoogeveen et al., 1999), el índice de intercambio respiratorio (RER) (Santos and Gianella-Neto, 2004; Solberg et al., 2005) y el incremento no lineal en el cociente VO₂/VO₂ (método de la pendiente en V) (Hoogeveen et al., 1999), han mostrado una excelente relación con el MLSS o el rendimiento en test de campo.

Todos estos métodos requieren de equipamientos sofisticados de laboratorio, de evaluadores experimentados o ambos. Por estas razones, se necesita un método práctico y accesible que sea válido y confiable. Si se pudiera determinar que el punto de corte en la frecuencia respiratoria (incremento no lineal en la frecuencia respiratoria durante un test de ejercicio progresivo) es un marcador válido y reproducible del AT, entonces existiría la posibilidad de crear un monitor de la frecuencia respiratoria (similar a los monitores de frecuencia cardíaca) que pudiera ser utilizado tanto para la valoración del AT como de la intensidad del ejercicio (comunicación personal, Departamento de Ingeniería, Universidad de St. Thomas, 2004). Conconi et al (1982) desarrollaron un test de campo que podría supuestamente detectar el AT a través de la detección del punto de quiebre en la linealidad de la frecuencia cardíaca durante un test progresivo. Dada la popularidad de los monitores de frecuencia cardíaca en atletas de resistencia competitivos, esta aplicación podría tener un gran valor tanto para la evaluación como para el entrenamiento. Sin embargo la validez de este procedimiento ha sido cuestionada (Carey et al., 2002; 2005).

Investigaciones previas han respaldado la validez del punto de quiebre de la RR para valorar el AT. Este autor (Carey et al., 2005) no halló diferencias significativas en ninguna de las comparaciones apareadas entre los puntos de quiebre de la RR, VE y VE/VO₂ ($F = 2.81$, $p = 0.067$) en 26 ciclistas varones entrenados. James et al (1989) compararon los puntos de quiebre de la RR y el VE/VO₂ y no hallaron diferencias entre estos métodos para valorar el AT. Neary (Neary et al., 1995) reportó una correlación significativa ($r = 0.89$, $p < 0.05$) entre los puntos de quiebre de la RR y del VE durante la realización de un test de ejercicio progresivo. Sin embargo, el punto de quiebre en la curva de la RR fue significativamente menor que la RR durante una prueba de 40 km, indicando que el punto de quiebre de la RR y la RR en estado estable durante ejercicios de alta intensidad son diferentes.

Los objetivos de este estudio son (1) valorar la confiabilidad y validez del punto de quiebre de la RR para determinar el AT y (2) establecer los valores de EEM y CV para los 3 métodos para la valoración del AT en relación a los cambios en la aptitud física en atletas.

METODOS

El Comité de Revisión Institucional (IRB) de la Universidad de St. Thomas aprobó los procedimientos de este estudio. Los sujetos fueron reclutados a través de un aviso colocado en el sitio Web de la Federación de Ciclismo de Minnesota (MCF). Los requerimientos para participar en el estudio incluyeron pertenecer a alguna de las categorías de la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos (USCF) y tener una edad entre 18 y 50 años. Las características descriptivas de los quince ciclistas de sexo masculino (5 de categoría II, 6 de categoría III, 1 de categoría IV y 3 de categoría V, de la Federación de Ciclismo de los Estados Unidos) fueron: edad media 34.0 ± 5.3 años, altura media 1.81 ± 0.05 metros, y peso corporal medio 77.8 ± 6.4 kilogramos. Los sujetos leyeron y firmaron una forma de consentimiento informado y completaron un breve cuestionario acerca de su historial médico antes de realizar el primer test para la medición de consumo máximo de oxígeno (VO₂máx). Ambos tests para la medición del VO₂máx fueron completados dentro del período de una semana y fueron llevados a cabo a la misma hora del día por cada sujeto. Se hicieron todos los esfuerzos posibles por estandarizar las condiciones de evaluación en cada sesión, incluyendo los hábitos de alimentación y sueño, el ejercicio pre-test y el ambiente de evaluación. Todos los tests fueron llevados a cabo en un cicloergómetro con cupla electromagnética (Lode Excalibur Sport, Lode, Netherlands) a la cual se le ajustó la altura del asiento y la altura y distancia del manubrio para cada sujeto. Las mediciones metabólicas fueron llevadas a cabo con un Sistema de Medición del Metabolismo Medical Graphics VO₂000 (Medical Graphics, St. Paul, Minnesota) con recolección y análisis de gases respiración por respiración. Este sistema fue calibrado respecto de la temperatura, presión barométrica, concentración de oxígeno y concentración de dióxido de carbono inmediatamente antes de cada test. La frecuencia cardíaca fue monitoreada utilizando un monitor Polar Vantage XL (Polar Electro, Woodbury, New York) y fue registrada a cada minuto hasta la finalización del test. El test comenzó con una carga de 25 W y se incrementó en 25 W por minuto. Los sujetos fueron instruidos para que mantuvieran

una cadencia de 90-95 rpm a través de todo el test. El test finalizó cuando los sujetos no podían mantener una cadencia de 50 revoluciones por minuto. El $\text{VO}_2\text{máx}$ fue valorado promediando los valores del VO_2 en los 10 segundos finales del test.

Los puntos de quiebre en las curvas de la frecuencia respiratoria (RR), la ventilación (VE) y el equivalente ventilatorio (VE/VO_2) fueron valorados utilizando el programa Minitab diseñado para valorar el ajuste de los datos mediante el método de la suma de los cuadrados mínimos (Quantitative Methods and Computer Science Department, University of St. Thomas). Los datos del VE/VO_2 para el primer minuto de ejercicio fueron omitidos debido a la rápida reducción observada en esta medida al comienzo del ejercicio y los efectos que este valor podía haber tenido en la valoración del punto de quiebre. Todos los datos para la VE y la RR fueron incluidos en el análisis computacional (Ver Figura 1, gráfica de dispersión para la valoración del punto de quiebre mediante el análisis computacional).

Actividad	Horas Promedio de Participación en Todos los Atletas	Número de Atletas Participantes
Básquetbol	7.73 (3.29)	46
Entrenamiento de Sobrecarga	0.73 (0.7)	36
Clases de Educación Física	0.31 (0.48)	21
Otros Deportes Organizados	0.54 (0.99)	15
Carrera	0.33 (0.72)	11
Ciclismo	0.14 (0.56)	10
Natación	0.07 (0.26)	7
Otros	0.29 (0.98)	7

Figura 1. Dispersión de la relación entre la VE y la potencia en Watts

Análisis Estadísticos

Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) 2×3 para medidas repetidas, para identificar las diferencias entre los métodos y los tests. El error estándar de medición (EEM) puede considerarse como la desviación estándar de evaluaciones repetidas por el mismo sujeto. Alternativamente, puede calcularse realizando dos tests en múltiples individuos, calculando la desviación estándar de la diferencia entre los valores, y dividiendo esta desviación estándar por la raíz cuadrada de 2 (Hopkins, 2004). Este fue el método utilizado en este estudio para la determinación del EEM. El coeficiente de variación (CV) fue calculado dividiendo el EEM por la media. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para valorar las relaciones entre las variables. Los datos se presentan como medias ± DE.

RESULTADOS

La Tabla 1 contiene los datos descriptivos de todas las variables medidas en este estudio. Todos los sujetos cumplieron al menos con dos de los tres criterios para la determinación del $\text{VO}_2\text{máx}$: (1) una frecuencia cardíaca > 95% de la frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad; (2) la estabilización del VO_2 (incremento menor a 250 mL/min en las dos últimas etapas del test) y (3) un índice de intercambio respiratorio de 1.1 o mayor. El máximo índice de intercambio respiratorio fue de 1.19 ± 0.04 para el Test 1 y de 1.18 ± 0.06 para el Test 2.

Actividad Física	Lesionados	No Lesionados
Participación total	10.31 (3.33)	9.87 (3.37)
Básquetbol (Total)	8.11 (3.59)	7.29 (2.93)
Básquetbol (Entrenamiento)	4.31 (1.43)	4.76 (2.22)
Básquetbol (Competencia)	1.16 (0.78)	1.33 (0.71)
Básquetbol (Prácticas de Lanzamiento)	0.97 (1.17)	0.56 (1.06) "
Básquetbol (Arbitraje)	1.21 (1.96)	0.54 (2.27) *
Básquetbol (Recreacional)	0.46 (0.85)	0.12 (0.29) '
Carreras	0.34 (0.80)	0.31 (0.62)
Entrenamiento de sobrecarga	0.78 (0.62)	0.68 (0.80)

Tabla 1. Datos descriptivos de los sujetos ($n = 15$). Los valores son medias (\pm DE). VEVT = ventilación al umbral anaeróbico, VE/VO₂VT = equivalente ventilatorio al umbral anaeróbico, RRVT = frecuencia respiratoria al umbral anaeróbico.

El análisis de varianza ANOVA 2x3 para dos tests repetidos y 3 métodos para la determinación del AT mostró que no hubieron diferencias significativas entre ninguna de las comparaciones ($F = 0.02$, $p = 0.978$), indicando que la RR es un método confiable y válido para la valoración del AT en comparación con los métodos más aceptados de VE y VE/VO₂.

Cuando se utilizaron las mismas comparaciones utilizando el consumo de oxígeno (mL/kg/min) no se hallaron diferencias significativas entre los tests y los métodos ($F = 0.13$, $p = 0.984$). Diferencias medias muy pequeñas entre los Test 1 y 3 (1.18 mL/kg/min) y pequeñas diferencias entre los métodos (diferencia promedio = 0.62 mL/kg/min) podrían indicar una excelente reproducibilidad y validez.

La Tabla 2 muestra los coeficientes de correlación (r), los errores estándar de medición (EEM) y los coeficientes de variación (CV) para los tres métodos de valoración del AT. Las pequeñas diferencias en el AT en Watts (VE = 1.0 watts, VE/VO₂ = 4.0 watts, RR = 10.0 watts), coeficientes de correlación relativamente buenos y valores P no significativos, indicarían que los 3 métodos son reproducibles. Sin embargo, el EEM y el CV para la RR parecen ser significativamente mayores que para la VE y el VE/VO₂. Cuando el AT se expresó en mL/kg/min en lugar de en Watts, se obtuvieron resultados similares. El EEM y el CV para la VE (2.64 mL/kg/min y 6.1%) y para el VE/VO₂ (3.72 mL/kg/min y 8.4%) fueron substancialmente menores que para la RR (5.71 mL/kg/min y 13.1%).

Actividad Física	Lesiones por Sobreuso	Lesiones Agudas	No Lesionados
Entrenamiento	4.25 (1.3)	4.24 (1.62)	4.76 (2.22)
Competición	1.08 (0.76)	1.3 (0.88)	1.33 (0.71)
Prácticas de Lanzamiento	0.26 (0.45)	1.43 (1.43) **	0.56 (1.06)
Arbitraje	2.28 (2.5)	1.12 (1.87)	0.54 (2.27) **
Recreacional	0.36 (0.49)	0.47 (0.88)	0.12 (0.29)

Tabla 2. Reproducibilidad de los 3 métodos para la valoración del umbral anaeróbico (AT). Los valores son medias (\pm DE). VE = ventilación, VE/VO₂ = equivalente ventilatorio, RR = frecuencia respiratoria, CC = coeficiente de correlación; EEM = Error estándar de medición (Watts); CV = coeficiente de variación.

La Tabla 3 muestra la reproducibilidad de los valores máximos para el VO₂, la frecuencia cardíaca y la potencia en Watts. Las pequeñas diferencias medias, los coeficientes de correlación relativamente altos y los bajos valores de EEM y CV indicarían que estas mediciones máximas son altamente reproducibles.

Medición	Test	Valores	CC (r)	Valor T	p	EEM	CV (%)
VO₂ max	1	65.9 (7.1)	.845	-1.01	.329	2.7	4.1
(ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	2	66.9 (6.8)					
Heart rate	1	183 (7)	.809	-.21	.836	3.5	1.9
(bpm)	2	184 (8)					
Power	1	385 (45)	.958	-.53	.606	9.9	2.6
(Watts)	2	387 (38)					

Tabla 3. Reproducibilidad de los valores máximos. Los valores son medias (\pm DE). CC = coeficiente de correlación; EEM = Error estándar de medición (mL/kg/min); CV = coeficiente de variación.

DISCUSION

La validez del método de RR para la valoración del AT ha quedado respaldada por los resultados de este estudio. Los resultados de los otros estudios que han examinado la RR como método para detectar el AT respaldan los resultados del presente estudio (Carey et al., 2005; James et al., 1989; Neary et al., 1995). James et al (1989) compararon el punto de quiebre de la RR y del VE/VO₂ y no hallaron diferencias significativas entre los dos métodos. Este autor (Carey et al., 2005) ha comparado previamente la RR, la VE y el VE/VO₂ y no halló diferencias significativas en ninguna de las comparaciones apareadas ($F = 2.81$, $p = 0.067$). Neary et al (1995) también reportaron una correlación significativa (0.89 , $p < 0.05$) entre la RR y el umbral ventilatorio (VE). Sin embargo, la RR al umbral fue significativamente menor que la RR media en una prueba de 40 km realizada por ciclistas entrenados, indicando que la RR al umbral no puede ser utilizada como método para identificar la intensidad del ejercicio durante una competencia. En contraste, otros investigadores han hallado que los umbrales VE y VE/VO₂ (Amann et al., 2004; Hoogeveen et al., 1999; Urhausen et al., 1993; Yamamoto et al., 1991) obtenidos durante un test de ejercicio progresivo coincidieron con el máximo estado estable del lactato (MLSS) y lo cual podría indicar la intensidad durante una competencia. La utilización del AT obtenida durante un test de ejercicio progresivo como la intensidad que podría mantenerse durante una competencia de resistencia es controversial. Gros Lambert et al (2004) reportaron que los triatletas pueden mantener producciones de potencia y exhibir parámetros fisiológicos significativamente mayores que los observados durante un test de ejercicio progresivo. Esto contrasta directamente con los resultados obtenidos por otros investigadores (Amann et al., 2004; Hoogeveen et al., 1999; Urhausen et al., 1993; Yamamoto et al., 1991), que indican que el punto de quiebre de la curva VE/VO₂ coincide con el MLSS o con la producción media de potencia durante ejercicios continuos de alta intensidad. Estas diferencias pueden ser explicadas por las variaciones en el tiempo de rendimiento, siendo el tiempo de resistencia al MLSS de aproximadamente 1 hora (Billat, 1996).

Las pequeñas diferencias en el EEM y el CV para la VE y el VE/VO₂ podrían indicar que ambos métodos son igualmente confiables para identificar el AT. Sin embargo, otros investigadores (Caiozzo et al, 1982) han reportado que la validez del VE/VO₂ para estimar el MLSS es mayor que la de la VE y que el primero debería ser el método de elección para identificar el AT. Aun así, otros investigadores han afirmado que existen dos puntos de quiebre diferentes que pueden identificarse durante un ejercicio progresivo (Bhambhani and Singh, 1985) y que estos ocurren durante diferentes etapas del test. El primer punto de quiebre se identifica como el punto en el cual el VE/VO₂ alcanza su valor mínimo, en donde el incremento en la intensidad de ejercicio resulta en la hiperventilación respecto del VO₂ (punto de compensación respiratoria, o RCP para el VO₂). El segundo punto de quiebre ocurre a mayores intensidades y se identifica cuando el VCO₂ alcanza un valor mínimo, y en donde el incremento en la intensidad resulta en la hiperventilación con respecto al CO₂; produciéndose un incremento en el VE/VCO₂ (RCP para el CO₂). El primero de estos puntos de quiebre ha sido identificado como el punto en el cual la concentración de lactato se incrementa significativamente por encima del valor basal, mientras que el segundo punto de quiebre representa el incremento no lineal en el lactato sanguíneo. Estos autores asocian el VE/VO₂ con el primer punto de quiebre y la VE con el segundo punto de quiebre, lo cual contrasta directamente con nuestros resultados que muestran que no hay diferencias significativas entre los puntos de quiebres del VE y el VE/VO₂. Las diferencias en estos resultados pueden ser explicadas por lo siguiente: (1) Bhambhani y Singh utilizaron la determinación visual de los puntos de quiebre en lugar del análisis computacional, (2) nuestro análisis computacional de los puntos de quiebre mostró un cambio en la linealidad durante el ejercicio progresivo, mientras que el examen de las gráficas de Bhambhani y Singh indicaron el punto en el que el VE/VO₂ y VE/VCO₂ primero alcanzan un valor mínimo, no cuando estos valores comenzaron a incrementarse, (3) los sujetos de su estudio fueron descritos como "38 hombres saludables". En efecto, la identificación de

sus dos puntos de quiebre (60 watts y 120 watts, respectivamente), indicaron grandes diferencias en el estatus de aptitud física.

La reproducibilidad de los métodos para la valoración del AT es extremadamente importante cuando se valoran los cambios en la aptitud física. Las grandes variaciones en mediciones repetidas hacen que sea estadísticamente imposible separar el error aleatorio del cambio verdadero. Entre los métodos estadísticos para valorar este cambio, cada uno tiene sus fortalezas y debilidades. Las diferencias medias pueden detectar cambios sistemáticos (i.e., el 1er test es mayor que el 2do test), pero no permite determinar el error aleatorio en la evaluación. En contraste, los coeficientes de correlación sufren del efecto opuesto - no permiten detectar cambios sistemáticos entre tests repetidos. Además, el coeficiente de correlación es altamente afectado por la homogeneidad de la muestra, resultando una mayor homogeneidad en un coeficiente de correlación menor. La muestra utilizada en el presente estudio es considerada homogénea, y se observaron cambios relativamente pequeños en los valores del AT y del ejercicio máximo.

Si bien los resultados del presente estudio, al menos estadísticamente, respaldan la reproducibilidad de la RR; la comparación de la RR con el VE y el VE/VO₂ indica que los últimos dos métodos tienen un EEM substancialmente menor (19.4 y 21.5 watts, respectivamente) y un menor CV (6.7% y 7.4%, respectivamente), en comparación con el EEM (35.3 watts) y CV (12.2%) de la RR.

Atkinson y Nevill (1998) respaldan el llamado "límite de acuerdo" como un método para distinguir el cambio verdadero del error aleatorio. Para calcular los "límites de acuerdo", estos autores recomiendan multiplicar $1.96 \times \sqrt{2} \times \text{EEM}$. Con la aplicación de los "límites de acuerdo" a los resultados del presente estudio se observó que la mejora necesaria en el AT en watts para determinar una mejora verdadera mediante los tres métodos es:

$$\begin{aligned}\text{Método VE} &= 12.2 \text{ watts} \\ \text{Método VE/VO}_2 &= 12.9 \text{ watts} \\ \text{Método RR} &= 16.5 \text{ watts}\end{aligned}$$

Esta información sería de gran valor para los científicos del deporte que realizan evaluaciones repetidas a sus atletas para valorar su mejora. Sin embargo, si bien según los cálculos realizados previamente muestran que el incremento en la potencia (en watts) necesaria para determinar que se ha producido una mejora parece ser pequeña, esta puede ser mayor que los pequeños cambios exhibidos por atletas que (1) han alcanzado un alto nivel de aptitud física y (2) han estado entrenando durante muchos años.

Hopkins (2000) afirma que los "límites de acuerdo" son muy estrictos y respalda la utilización de la mitad de los "límites de acuerdo", ya que aún dará un 84% de confianza a un cambio verdadero, en oposición al 95% de confianza de los "límites de acuerdo". Este podría ser el método de elección cuando se evalúa a atletas con un alto nivel de aptitud física.

Pocos estudios han reportado el CV en watts. El 10.1% reportado por Earnest et al (2005) es considerablemente mayor que los valores del CV para el AT del 6.7% y 7.4% para el VE y VE/VO₂, respectivamente, hallados en el presente estudio. Cuando el AT se expresó en mL/kg/min, nuestro valor del CV para el VE (6.1%) es muy comparable al 5.6% y 6.4% obtenidos en otros estudios (Caiozzo et al., 1982). El valor del CV para el VE/VO₂ (8.4%) en nuestro estudio solo es ligeramente mayor que el observado en estudios previos. Sin embargo, nuestro CV para la RR (13.1%) es significativamente mayor que el obtenido con otros métodos para la valoración del AT y parece contraindicar su utilización para medir cambios en la aptitud física.

Al medir las mejoras en el VO₂máx, utilizando los "límites de acuerdo" como se hizo previamente, se determinó que se requeriría del siguiente incremento para separar el cambio verdadero del error aleatorio:

$$\begin{aligned}\text{VO}_2\text{máx} &= 7.6 \text{ ml/kg/min} \\ \text{Max watts} &= 8.7 \text{ watts}\end{aligned}$$

El menor CV para los watts (2.6%) en comparación con el VO₂máx (4.1%) indicaría que el monitoreo del cambio en la potencia máxima podría ser un mejor método para valorar mejoras en el rendimiento que los cambios en el VO₂máx. La aplicación práctica aquí es la utilización de la evaluación sobre cualquier ergómetro sin la necesidad de utilizar un costoso equipamiento para el análisis del intercambio de gases.

El menor CV para la potencia máxima en watts, en comparación con el VO₂máx (mL/kg/min), también ha sido observado por otros investigadores (Bagger et al., 2003, Earnest et al., 2005). Bagger et al (2003) reportaron un CV menor al 5% para la potencia máxima en watts, mientras que el CV para el VO₂máx fue "menor al 10%" - Earnest et al (2005) obtuvieron valores del CV del 6.3 % y 7.1% para la potencia máxima en watts y el VO₂máx (mL/kg/min) respectivamente. Si bien Shephard et al. (2004) y Katch et al. (1982) no compararon el CV para la potencia máxima en watts y para el VO₂máx, su

CV para el $\text{VO}_2\text{máx}$ (5.0% y 5.6%) son ligeramente mayores que el valor de 4.1% observado en el presente estudio.

El hallazgo de que no se produjeron diferencias significativas entre los tests 1 y 2 podría ir en contra de la habituación y del “efecto de aprendizaje”. Hopkins et al (2001) reportaron valores relativamente grandes de CV entre los tests 1 y 2 pero, diferencias menores no significativas en subsiguientes tests. Una posible explicación de la diferencia en estos resultados podría ser: (1) las posiciones del asiento y el manubrio en ergómetro utilizado para la evaluación podría reproducir muy cercanamente las posiciones utilizadas por los ciclistas en sus bicicletas, (2) estos ciclistas estaban familiarizados con la realización de esfuerzos máximos, y (3) muchos de los sujetos habían sido evaluados previamente en este laboratorio.

CONCLUSIONES

Se concluye que: (1) la frecuencia respiratoria es un método válido y confiable para valorar el umbral anaeróbico, en comparación con los métodos actualmente aceptados de la ventilación (VE) y el equivalente ventilatorio (VE/VO_2). (2) Los valores relativamente altos del error estándar de medición (EEM) y del coeficiente de variación (CV) para el método de la frecuencia respiratoria, en comparación con los métodos de VE y VE/VO_2 podría contraindicar la utilización de este método para detectar cambios relativamente pequeños en atletas altamente entrenados. (2) Los valores relativamente pequeños del CV y el EEM observados para la potencia máxima en watts en comparación con el $\text{VO}_2\text{máx}$ ($\text{mL}/\text{kg}/\text{min}$) podrían indicar que la potencia máxima es más sensible a los cambios relativamente pequeños en la capacidad máxima observados en atletas altamente entrenados.

Puntos Clave

- La frecuencia respiratoria es un marcador válido y confiable del umbral anaeróbico
- Debido a que el método de la frecuencia respiratoria exhibió valores relativamente altos del error estándar de medición y del coeficiente de variabilidad, sería preferible la utilización de la ventilación (VE) y del equivalente ventilatorio para el oxígeno (VE/VO_2) para detectar cambios en el umbral anaeróbico
- Cuando se valoran los cambios en la máxima capacidad aeróbica, la potencia máxima tiene un menor error estándar de medición y un menor coeficiente de variabilidad, por lo cual es preferible su uso en lugar de la valoración de los cambios en el consumo máximo de oxígeno.

REFERENCIAS

1. Amann, M., Subudhi, A., Walker, J., Eisenman, P., Shultz, B. and Foster, C (2004). An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 336, 1716-1722
2. Atkinson, G. and Nevill, A (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine* 26, 217-238
3. Aunola, S. and Rusko, H (1984). Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. *European Journal of Applied Physiology* 53, 260-266
4. Aunola, S. and Rusko, H (1992). Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady state?. *Journal of Sport Science* 10, 309-323
5. Bagger, M., Petersen, P. and Pedersen, P (2003). Biological variation in variables associated with exercise training. *International Journal of Sports Medicine* 24, 433-440
6. Bhambhani, Y. and Singh, M (1985). Ventilatory thresholds during a graded exercise test. *Respiration* 447, 120-128
7. Billat, V (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. *Sports Medicine* 22, 157-175
8. Caiozzo, V., Davis, J., Ellis, J., Azus, J., Vandagriff, R., Prietto, C. and McMaster, W (1982). A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology: Respiratory and Environmental Exercise Physiology* 53, 1184-1189
9. Carey, D., Duoos, B. and Raymond, R (2002). Intra- and Inter-observer reliability of the heart rate deflection point during incremental exercise: comparison to computer-generated deflection point. *Journal of Sports Science and Medicine* 4, 115-122
10. Carey, D., Hughes, J., Raymond, R. and Pliego, G (2005). The respiratory rate as a marker for the ventilatory threshold: comparison to other ventilatory parameters. *Journal of Exercise Physiology* 8(2), 30-38
11. Conconi, F., Ferrari, M., Ziglio, M., Droghetti, P. and Codeca, L (1982). Determination of the anaerobic threshold by a non-invasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology* 52, 869-873

12. Earnest, C., Wharton, R., Church, T. and Lucia, A (2005). Reliability of the Lode Excalibur Sport Ergometer and applicability to Computrainer electromagnetically braked cycling training device. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19, 344-348
13. Gros Lambert, A., Grappe, F., Bertucci, W., Perrey, S., Girard, A. and Rouillon, J (2004). A perceptive individual time trial performed by triathletes to estimate the anaerobic threshold. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 44, 147-156
14. Hoogeveen, A., Schep, G. and Hoogsteen, J (1999). The ventilatory threshold, heart rate, and endurance performance: relationships in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 20, 114-117
15. Hopkins, W (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine* 30, 1-15
16. Hopkins, W., Schabert, E. and Hawley, J (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine* 31, 211-234
17. Hopkins, W (2004). How to interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience* 88, 1-7
18. James, N., Adams, G., and Wilson, A (1989). Determination of the anaerobic threshold by ventilatory frequency. *International Journal of Sports Medicine* 10, 192-196
19. Katch, V., Sady, S. and Freedson, P (1982). Biological variability in maximum aerobic power. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 14, 21-25
20. Lucia, A., Carvajal, A., Calderon, F., Alfonso, A. and Chicharro, J (1999). Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology* 79, 512-521
21. Neary, J., Bhambhani, Y. and Quinney, H (1995). Validity of breathing frequency to monitor exercise intensity in trained cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 16, 255-259
22. Orr, G., Green, H., Hughson, R. and Bennett, G (1982). A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology: Environmental and Exercise Physiology* 52, 1349-1352
23. Santos, E. and Giannella-Neto, A (2004). Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *European Journal of Applied Physiology* 93, 315-324
24. Shephard, R., Rankinen, T. and Bouchard, C (2004). Test-retest errors and the apparent heterogeneity of training response. *European Journal of Applied Physiology* 91, 199-203
25. Solberg, G., Robstad, B., Sjonsberg, O. and Borchsenius, F (2005). Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *Journal of Sports Science and Medicine* 4, 29-36
26. Urhausen, A., Coen, B., Weiler, B. and Kindermann, W (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine* 14, 134-139
27. Yamamoto, Y., Miyashita, M., Hughson, R., Tamura, S., Shinohara, M. and Mutoh, Y (1991). The ventilatory threshold gives maximal lactate steady state. *European Journal of Applied Physiology* 63, 55-59

Cita Original

Daniel G. Carey, Leslie A. Schwarz, German J. Pliego and Robert L. Raymond. Respiratory Rate is a Valid and Reliable Marker for the Anaerobic Threshold: Implications for Measuring Change in Fitness. *Journal of Sports Science and Medicine* (2005) 4, 482 - 488