

Article

Frecuencia Respiratoria y Umbral Ventilatorio en Participantes Desentrenados y Sedentarios

Colin B. O'Leary y Stasinos Stavrianeas

Department of Exercise Science, Willamette University, Salem, OR, Estados Unidos.

RESUMEN

La identificación de la transición de principalmente aeróbico a principalmente anaeróbico es fundamental para predecir el rendimiento físico y prescribir los programas de ejercicio. El umbral ventilatorio (VT) es una variable común de intercambio de gases vinculada a esta transición, pero su determinación requiere equipos sofisticados, especialización del operador y dinero. Por el contrario, el punto de quiebre de la frecuencia respiratoria (RRB) ha sido altamente correlacionado con el umbral ventilatorio (VT) y es más sencillo de establecer que VT. El propósito de este estudio fue analizar si la relación entre VT y RRB sigue manteniéndose en individuos desentrenados y sedentarios de la misma manera que en los participantes entrenados. Diecisiete participantes saludables universitarios (7 varones y 9 mujeres) realizaron un protocolo progresivo en cinta rodante hasta el agotamiento para establecer el VO_{2max} . El umbral ventilatorio y RRB se determinaron durante el test máximo y un posterior test submáximo. Una regresión polinómica de 6^{to} grado identificó RRB en las dos series de ejercicio. Para analizar la relación entre VT y RRB se utilizó el Test t de muestras dependientes y correlación de Pearson. El umbral ventilatorio y RRB del ejercicio submáximo presentaron una elevada correlación ($r = 0,84$, $P < 0,001$) y no se observó una diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($P = 0,182$). El VT y RRB del ejercicio máximo no fueron estadísticamente diferentes ($P=0,706$), y no se correlacionaron ($r = 0,04$, $P=0,882$). El RRB en las dos pruebas fue estadísticamente diferente ($P=0,047$). Considerado la diferencia en la relación entre los dos tests, los estudios futuros deberían tener en cuenta el protocolo de evaluación cuando evalúan el VT. Los resultados indican que el RRB puede estimar el VT en los individuos desentrenados en ejercicios submáximos.

Palabras Clave: Frecuencia respiratoria, regresión polinómica

INTRODUCCIÓN

Las determinaciones de intercambio de gases se utilizan para determinar la intensidad del ejercicio adecuada para prescribir el ejercicio de manera segura (10). El umbral ventilatorio (VT) es una técnica no invasiva basada en variables de intercambio de gases que describe los cambios respiratorios asociados con el aumento en el trabajo físico de ejercicio incremental (19). Se caracteriza por aumentos desproporcionados en la ventilación expirada (V_E) en función del consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono debido al aumento en la actividad buffer de protones del sistema de bicarbonato y de otras respuestas fisiológicas al ejercicio (2). Los métodos utilizados para identificar VT son altamente reproducibles, pueden ser medidos con precisión y son parámetros factibles de alcanzar con seguridad para la identificación no invasiva de la intensidad del ejercicio (28). También se ha demostrado que el VT es una medida válida del umbral anaeróbico (2) y es un estimador del rendimiento (1). A pesar de ello, la determinación y uso de VT han sido

polémicos debido a que se han propuesto múltiples enfoques a lo largo de los años (12).

Dado la ambigüedad que rodea la determinación de VT, se han propuesto otras técnicas para facilitar aún más la identificación de la intensidad del ejercicio y VT, como por ejemplo el uso de la frecuencia respiratoria (6,8-10,15,19). Al comienzo del ejercicio la V_E aumenta linealmente en paralelo al aumento en el volumen corriente (TV) ya que la frecuencia respiratoria (RR) se mantiene relativamente constante (17). Así, justo antes del agotamiento el TV alcanza una meseta debido al trabajo de la respiración más profunda que plantea una mayor exigencia sobre los músculos pulmonares (6,9). Una vez que el TV alcanza la meseta, la RR aumenta en respuesta a la disminución en el pH, al aumento en CO_2 y a otras demandas fisiológicas del ejercicio (6). Este aumento exponencial o punto de quiebre de la frecuencia respiratoria (RRB) ha sido identificado como un posible indicador del VT (6,9,27) y, por consiguiente, podría ser utilizado como una medición no invasiva para determinar el VT.

Varios estudios que investigaron a atletas entrenados han encontrado una elevada correlación entre el RRB y el VT (5,8-9,20). Se ha propuesto que los atletas altamente entrenados alcanzan limitaciones mecánicas de V_E y TV (6). Por consiguiente, un aumento en la ventilación se debería a aumentos en RR al realizar el ejercicio hasta el agotamiento en los atletas de resistencia altamente entrenados debido a la meseta (plateau) inevitable en TV (20). Además es probable que los estudios realizados con atletas altamente entrenados encuentren resultados consistentes debido a la homogeneidad de la población y de los parámetros medidos (20), haciendo que RR sea una medición eficaz para identificar el VT en atletas entrenados.

A pesar de que estos conocimientos son aplicables a atletas entrenados, pocos estudios han analizado RR como marcador para el VT en los individuos desentrenados (10,13,19). Si bien estos estudios mostraron una buena correlación entre el RRB y el VT, los resultados no son aplicables a la población de individuos sedentarios desentrenados ya que los participantes no eran individuos completamente desentrenados y sedentarios. Por lo tanto, si existe una relación entre RRB y VT, RR podría estimar la intensidad del ejercicio en los individuos desentrenados y podría aportar un criterio adicional para mejorar la confianza en la determinación del VT. El propósito de este estudio fue analizar si RR es un estimador exacto de la intensidad del ejercicio y del VT utilizando una población sedentaria desentrenada. Un propósito secundario de este estudio fue examinar si es posible hacer una determinación más exacta del VT a partir de un test máximo o de un test submáximo más gradual.

MÉTODOS

Sujetos

Para el estudio presente se reclutaron estudiantes de edad universitaria ($n=17$, edad: $20,53 \pm 1,33$ años, talla: $169 \pm 7,79$ centímetros, peso: $67,90 \pm 9,95$ kg). Los participantes no tenían antecedentes previos de trastornos cardíacos. Eran sedentarios (es decir, menos de 1 hora/semana de actividad física) y durante por lo menos 8 meses no habían participado en ningún tipo de programa de entrenamiento riguroso. Los participantes completaron un consentimiento informado por escrito y un cuestionario modificado de disponibilidad para la actividad física (PAR-Q) para documentar su capacidad de realizar ejercicio riguroso. El diseño de la investigación fue aprobado por el Comité Institucional de la Universidad de Willamette.

Procedimientos

Los participantes acudieron al laboratorio en dos ocasiones separadas sin haber realizado actividad física durante las 24 hrs previas. En el primer día, los participantes realizaron la prueba de consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) en una cinta rodante (*Trackmaster, Newton, KS, EE.UU.*). En el segundo día, los participantes realizaron una prueba submáxima en cinta rodante que duró 25 min. En ambas pruebas los participantes arribaron al laboratorio en el mismo momento del día para evitar las variaciones diarias, y el test submáximo se realizó en un lapso no menor a 2 días y no mayor a una semana luego del primer test. Para realizar ambos tests se les solicitó que vistieran ropa deportiva adecuada y zapatillas para correr, que asistieran al laboratorio descansados y completamente hidratados y que evitaran consumir alimentos, alcohol y cafeína por lo menos durante las tres horas previas a la evaluación.

Después de realizar una entrada en calor seleccionada por ellos mismos, se solicitó a los participantes que eligieran un ritmo al cual pudieran realizar ejercicios durante 45-60 min. El test comenzó con 1 milla por hora (mph) (1,6 km/h) por debajo del ritmo seleccionado con 0% de pendiente. En las 3 fases siguientes la velocidad de la cinta rodante aumentó 1 mph cada 2 min con la pendiente constante en 0%. Cada fase adicional duró 1 minuto y la pendiente se incrementó 2% en

cada fase hasta que el participante alcanzara el agotamiento. El índice de esfuerzo percibido (RPE) fue registrado en la mitad de cada fase. La frecuencia cardíaca (HR) fue registrada de manera constante a lo largo de la prueba por medio de un reloj y un monitor de HR Polar (*Polar Electronics, Port Washington, NY, EE.UU.*). Los gases expirados fueron medidos mediante un sistema de medición del metabolismo calibrado (*PARVO Medics, Sandy, UT, EE.UU.*). El VO_{2max} de los participantes fue considerado como el mayor valor de VO_2 en $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ alcanzado durante cualquier período de 30 seg.. Todos los participantes cumplieron 2 de los 3 siguientes criterios para alcanzar el VO_{2max} : (a) índice de intercambio respiratorio terminal (RER) mayor que 1,10; (b) frecuencia cardíaca 95% o superior de la frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad ($HR = 220 - edad$); y (c) un aumento en el VO_2 inferior a $200 mL \cdot min^{-1}$ a lo largo de las 3 fases finales. Luego del test máximo, el VT de cada participante se determinó con el método del índice ventilatorio (es decir, cuando se observaba un aumento en el V_E/VO_2 sin un aumento simultáneo en el V_E/VCO_2). Se informó como porcentaje del VO_{2max} del participante ($\% VO_{2max}$).

En el segundo día de evaluación, los participantes realizaron un test submáximo en cinta rodante diseñado para identificar mejor el VT y el RRB. La prueba consistió en una entrada en calor seleccionada por los mismos participantes, un protocolo de evaluación de 25 min y un enfriamiento (vuelta a la calma). El protocolo de evaluación comenzó con un ritmo y una pendiente iguales al 80% del VT previamente establecido. Cada participante mantuvo este ritmo inicial durante 5 min. Cada fase adicional duró 5 min, el nivel de intensidad aumentaba 10% hasta que se alcanzara el 120% del VT. El nivel de intensidad aumentó 0.5 o 1 mph en las primeras 3 fases, en función de la aptitud de cada participante exhibida durante la prueba máxima, con el fin de alcanzar 100% de la intensidad del VT previamente estimada en la tercera fase. Para las fases 4 y 5 la pendiente fue incrementada 1% o 2% cada fase hasta la finalización de la prueba. Se registraron las mediciones de intercambio de gases, RPE y HR a lo largo del test submáximo. El VT fue establecido utilizando el mismo método de índice ventilatorio (19).

Para identificar RRB se adoptó una metodología de regresión polinómica de Cross y colegas (10). Una función polinómica de 6^{to} orden fue adaptada a los datos de RR graficados en función del $\%VO_{2max}$ obtenido durante el test de ejercicio submáximo. Luego se calculó la segunda derivada (es decir, d^2y/dx^2) de la función polinómica de mejor ajuste. Por lo tanto la segunda derivada era dos órdenes de magnitud menor de la regresión polinómica original. Para cualquier polinomio de enésimo orden, se puede observar un máximo de $n-1$ extremos lo que denota aceleraciones y desaceleraciones abruptas en la serie de datos. Por consiguiente, una vez que se ajustó una función polinómica de 6^{to} orden a los datos, una segunda derivada arrojó tres extremos. El RRB se definió como los extremos locales máximos dentro de la segunda derivada de la regresión lineal ajustada a los datos de RR y fue señalada como $\% VO_{2max}$ (Figura 1). Para encontrar la regresión polinómica y las constantes que mejor se ajustaban a los datos minimizando la distancia de la línea de regresión con los valores de Y reales después de elevarlos al cuadrado (es decir, regresión de los mínimos cuadrados) se utilizó Microsoft Excel (*Microsoft, Redmond, WA, EE.UU.*)

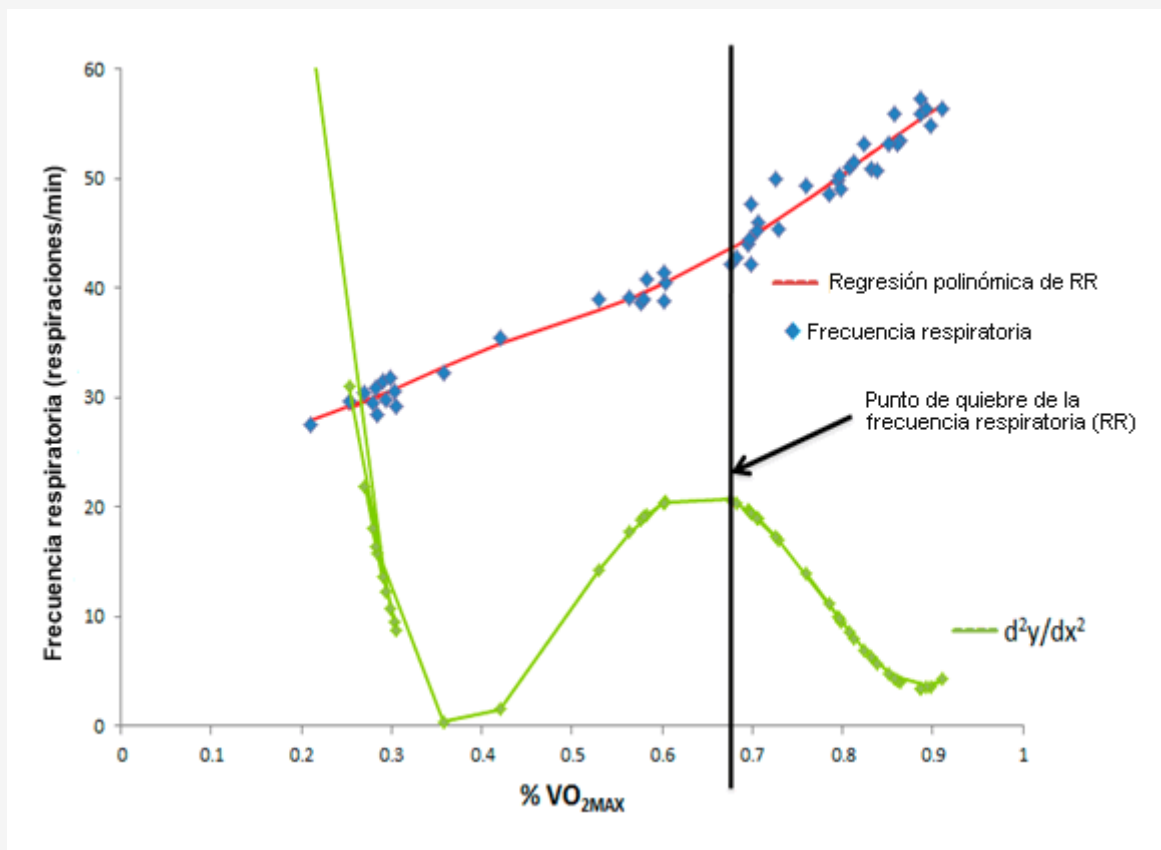


Figura 1. Ejemplo de regresión polinómica y segunda derivada de los datos de frecuencia respiratoria utilizadas para determinar el punto de quiebre de la frecuencia respiratoria.

Análisis estadísticos

Se utilizó la prueba t para muestras apareadas para comparar el % VO_{2max} al RRB con el % VO_{2max} al VT en los test máximos y submáximos. También se utilizó la prueba t para muestras apareadas para comparar el %VO_{2max} al VTs y RRBs de ambos tests. Se realizaron regresiones lineales para determinar la fuerza de asociación entre las variables. La significancia se fijó en un valor de alfa igual a 0,05 para todos los análisis. Los datos fueron analizados con el software SPSS 13,0 (SPSS INC., Chicago, IL, EE.UU.).

RESULTADOS

Test máximo

En la Tabla 1 se muestran los resultados del primer test máximo. Los participantes alcanzaron un VO_{2max} promedio de 48,71±8,63 mL kg⁻¹ min⁻¹. Su VT estimado se produjo a 83,82±8,19 de % VO_{2max} (n=16). El RRB fue 81,00±12,10 % del VO_{2max} para este test. No se observaron diferencias estadísticas entre el umbral ventilatorio (VT) y el punto de quiebre de la frecuencia respiratoria (RRB) en el test máximo (P=0,706), pero la regresión no arrojó ninguna asociación entre estas dos variables (r = 0,04; P=0,882).

	Total (n=17)	Varones (n=8)	Mujeres (n=9)
VO ₂ Max (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	48,71 ± 8,63	54,44 ± 6,85	43,62 ± 6,78
HR Max (latidos·min ⁻¹)	199,59 ± 9,66	199,63 ± 13,41	199,56 ± 5,43
RER Max	1,19 ± 0,07	1,18 ± 0,06	1,19 ± 0,08
VT estimado (%VO ₂ max)	83,82 ± 8,19†	80,27 ± 7,85	87,38 ± 7,28§
Punto de quiebre de RR (%VO ₂ max)	81,00 ± 12,10	74,32 ± 13,70	86,19 ± 8,02

Tabla 1. Variables fisiológicas y de rendimiento del test máximo presentadas en forma de datos totales grupales y datos divididos por sexos. †n=16, §n=8, VO₂ max= Consumo de oxígeno máximo, Max HR= Frecuencia cardíaca máxima; RR=Frecuencia respiratoria; HR= Frecuencia cardíaca; RER= Índice equivalente respiratorio; VT= Umbral ventilatorio

Test Submáximo

En la Tabla 2 se muestran los resultados del test submáximo. El VT fue 75,35±12,63 de % VO₂max. Después de aplicar la regresión polinómica a los datos submáximos de RR, el %VO₂max del RRB se produjo a 73,02±11,10 de % VO₂max. Se observó una correlación significativa entre el VT y RRB del test submáximo (r = 0,84, R² = 0,70, P <0,001, Figura 2). Un test t dependiente tampoco arrojó diferencias estadísticas entre VT y RRB del test submáximo (P=0,182).

	Total (n=17)	Varones (n=8)	Mujeres (n=9)
VT del test submáximo (%VO ₂ max)	75,35 ± 12,63	72,84 ± 9,89	77,57 ± 14,89
Punto de quiebre de RR (%VO ₂ max)	73,02 ± 11,10	71,37 ± 12,36	74,50 ± 10,38
RR en VT (respiraciones·min ⁻¹)	38,14 ± 6,58	35,99 ± 6,30	40,06 ± 6,56
RPE en VT	12,82 ± 2,53	12,75 ± 1,67	12,89 ± 3,22
HR en VT (latidos·min ⁻¹)	175,53 ± 13,22	174,25 ± 12,22	176,67 ± 14,68

Tabla 2. Variables fisiológicas y de rendimiento del test submáximo presentadas en forma de datos totales grupales y datos divididos por sexos. VO₂ max: Consumo de oxígeno máximo, HR: frecuencia cardíaca, RPE: Índice de esfuerzo percibido, VT: Umbral Ventilatorio, RR: Frecuencia respiratoria

No se observaron diferencias estadísticas entre VT del test submáximo y el del test máximo (P=0,083). Sin embargo, después de que se realizó una regresión lineal, no se observaron relaciones entre los dos VTs (r = -0,303, P=0,254). Se observaron diferencias estadísticas entre el % VO₂max del RRB de los dos tests (P=0,047).

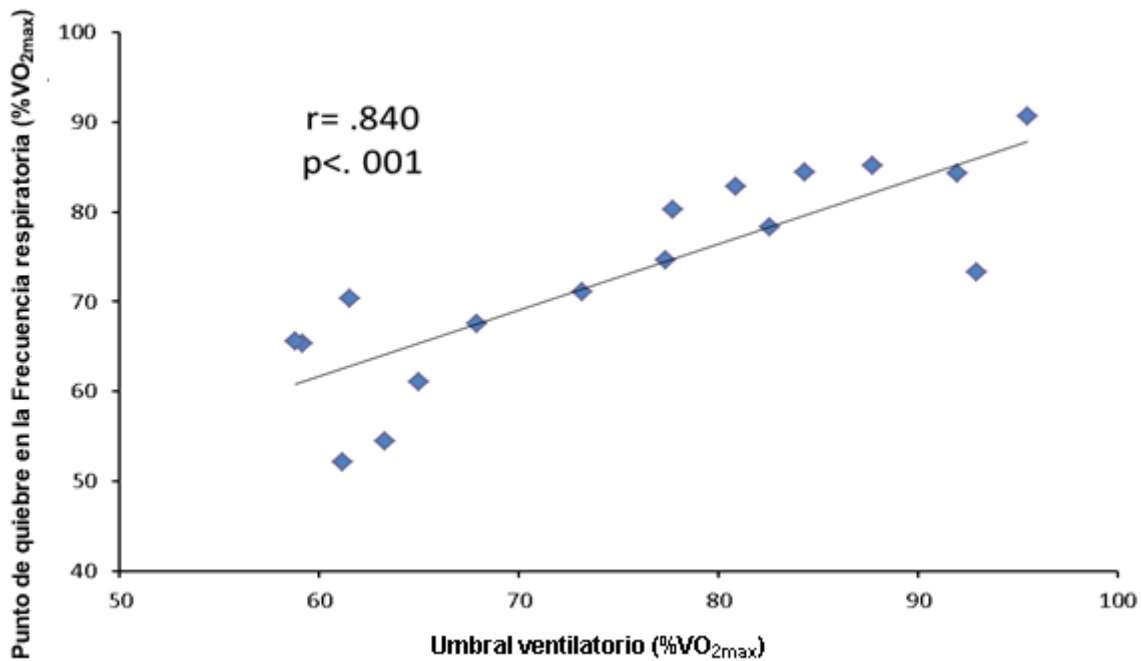


Figura 2. Correlación entre el umbral ventilatorio (%VO_{2max}) y punto de quiebre en la frecuencia respiratoria (%VO_{2max}) del test submáximo (n=17). Los resultados sugieren que un test submáximo puede ser un buen protocolo para establecer el umbral ventilatorio y otras variables fisiológicas submáximas en participantes desentrenados.

DISCUSIÓN

El principal propósito de este estudio fue examinar la relación entre el VT y RRB en participantes sedentarios desentrenados, utilizando un protocolo en cinta rodante. La identificación del RRB se realizó mediante una regresión polinómica de 6^{to} orden aplicada tanto a los resultados del test máximo como del test submáximo realizados en una cinta rodante. Durante el test submáximo, el RRB se produjo a 73,11 %VO_{2max} lo que coincide con lo observado por Cross y colegas (10) quienes utilizaron la técnica de la regresión polinómica. El VT se produjo en 75,13% lo que también coincide con Berry y colegas (3) quienes trabajaron con participantes desentrenados.

Test submáximo

Los resultados de este estudio implican que existe una relación entre el aumento en la frecuencia respiratoria y la transición del metabolismo principalmente aeróbico al metabolismo principalmente anaeróbico. Se ha especulado que esta transición se produciría a medida que el cuerpo perfecciona su patrón respiratorio, poniendo menos tensión sobre los músculos respiratorios (6,13). La estimulación de los receptores químicos cardiovasculares debida a la acidosis metabólica y a la producción de exceso de CO₂ es la teoría que prevalece para este cambio fisiológico en la respiración (4,8-10,13). Otras teorías que apoyan una relación entre mayores frecuencias respiratorias y VT incluyen la expresión de la estrategia de jadeo de los mamíferos, la activación resultante de centros respiratorios secundaria a los mayores estímulos neurogénicos centrales y periféricos, concentraciones iónicas alteradas, temperatura central corporal aumentada, adaptación a la mayor frecuencia del paso y una disminución abrupta en la oxigenación cerebral (10,15,19,21). Actualmente no se sabe, si un mecanismo fisiológico específico provoca la relación entre RR y VT o si alguno de los factores anteriores actúa de manera individual.

Test máximo

El test máximo inicial se utilizó principalmente para obtener la medición del VO₂máx de los participantes y para estimar el VT con el fin de fijar la intensidad apropiada en el test submáximo. Para comparar los dos protocolos diferentes de evaluación, el VT y RRB también fueron calculados para este test máximo inicial. Si bien no se observaron diferencias estadísticas entre el VT y RRB del test máximo inicial, las dos variables no presentaron ninguna correlación. Esta

disociación no es consistente con otros estudios que examinaron la relación entre el VT y RRB utilizando un protocolo de test máximo (6,10,13) lo que cuestiona si un test máximo puede ser utilizado para establecer un parámetro submáximo como VT.

Estudios previos han analizado si la longitud de la fase o la intensidad del protocolo de ejercicio afectan el VT en los tests máximos. En algunos casos, la literatura sugiere que no existen diferencias para pruebas que utilizan fases de mayor o menor duración de intensidades diferentes (12,18,24). En oposición a estos resultados, Cheatham y colegas (7) observaron que el VT se elevaba en los tests con cambios grandes en la intensidad entre las fases. Shimizu y colegas (26) informaron un VT significativamente más alto cuando la duración era menor, pero ellos utilizaron un test máximo de intensidad máxima versus un test máximo mas gradual. Kang y colegas (16) indicaron que la velocidad de arranque alta de algunas pruebas podría poner a los individuos desentrenados en un estado anaeróbico antes de que sus cuerpos puedan ajustarse al test, aumentando su VT. El mayor aumento en la demanda metabólica de una fase a la próxima durante un test máximo puede inducir un apartamiento prematuro de la linealidad en $\dot{V}O_2$ debido a la hiperventilación y a la incapacidad de los participantes de controlar su respiración (11). Las fases más largas y más graduales, como las de un test submáximo, podrían ayudar a identificar mejor el VT, ya que el cuerpo y la respiración del participante pueden alcanzar un estado estable dentro de las fases más largas, produciendo así un verdadero VT. Esto es especialmente pertinente para individuos desentrenados que son novatos frente a los procedimientos de evaluación y al manejo de los equipos. Considerando la falta de consistencia en la literatura con respecto al VT y al procedimiento de evaluación, los estudios futuros deben examinar si el VT y su relación con RRB son específicamente afectados por el protocolo de evaluación.

Regresión polinómica

En este estudio, para identificar el RRB se ajustó a los datos de RR una regresión polinómica de 6^{to} grado utilizando un protocolo obtenido de Cross y colegas (10). Los estudios previos tuvieron problemas para identificar RRB que han llevado a conclusiones nulas sobre la relación entre RR y VT (4,6,15). Sin embargo en el estudio actual, derivando el polinomio y encontrando los máximos locales de la segunda derivada pudimos identificar fácilmente el RRB. La regresión polinómica se ha utilizado con éxito para identificar las variables de intercambio de gases en estudios previos y no utiliza el modelo de regresión segmentada típico (10,25). Sin embargo, esta nueva metodología del polinomio relativa no carece de sesgos potenciales. Usando un polinomio de 6^{to} grado, se garantizan tres extremos cuando el polinomio se deriva, creando potencialmente un máximo local o punto de quiebre artificial. El uso de los datos de la entrada en calor y de la recuperación en el modelo también puede sesgar el ajuste de la regresión polinómica, afectando las constantes utilizadas para ajustar la línea. La utilización de regresión polinómica podría disminuir la relativa practicidad de usar RRB para identificar el VT, dado que se necesita un software sofisticado y técnicos especializados. Incluso teniendo en cuenta estas desventajas, esta técnica demostró ser útil para el descubrimiento de RRB. Las futuras investigaciones deben analizar aplicando regresiones polinómicas de diferentes grados para confirmar si esta técnica es aplicable para identificar los umbrales del intercambio gaseoso.

Limitaciones

Los estudios que examinaron a atletas entrenados (5,8-9) y a individuos moderadamente activos (10,13,19) también han observado una correlación fuerte entre RRB y VT. Sin embargo, otros estudios plantean dudas sobre esta misma relación (4,6,15). En estos informes, la variabilidad respiratoria de cada participante a medida que se incrementa la intensidad del ejercicio no permite la identificación de un RRB en algunos participantes. Por ello, sólo podría identificarse el RRB y su asociación con VT en participantes que exhiben un *plateau* (meseta) en VT. Evaluar más participantes, usar una regresión polinómica para identificar el RRB y hacer tests submáximos en lugar de los tests máximos realizados en estudios que no informaron ninguna relación podría aportar una mejor indicación de si RR es un marcador exacto para VT.

Los estudios previos también han planteado la duda de usar el RRB como estimación para el VT debido al acople de la frecuencia respiratoria (6,15,19). El acople de la frecuencia respiratoria ocurre cuando el ritmo y el movimiento del ejercicio controla el patrón respiratorio (14). Jones y Doust (15) observaron que acople de la frecuencia respiratoria de RR a la cadencia era evidente en 8 de 12 participantes entrenados. Sin embargo en el estudio mencionado, acople de la frecuencia respiratoria no siempre impidió a los participantes exhibir un RRB. Paterson y colegas (22) observaron acople de la frecuencia respiratoria a la cadencia era secundaria a lograr la ventilación óptima. Esto sugirió que si se estaba por producir una meseta en el volumen corriente, entonces RR tendrían que aumentar para que aumente V_E . Tanto el uso de un protocolo con cinta rodante como de participantes desentrenados, como fue el caso en el estudio actual, puede reducir acople de la frecuencia respiratoria (3,19).

Es irrazonable pensar que los individuos podrían identificar las transiciones en sus frecuencias respiratorias, lo que limita la utilidad de esta relación entre el RR y VT en el campo. Sin embargo, si las futuras investigaciones continúan confirmando que RR y VT están vinculados en la mayoría de las condiciones, el desarrollo de un dispositivo podría

aumentar potencialmente la viabilidad de esta información para su uso fuera del laboratorio. Por ejemplo, el dispositivo podría consistir en una venda elástica ajustable capaz de contabilizar RR junto con una pantalla de fácil lectura similar a un monitor de frecuencia cardíaca (HR). En la actualidad, no existe ningún dispositivo para tal uso, pero la literatura actual apoya el uso de un dispositivo así (6). El desarrollo de este tipo de dispositivo podría ayudarnos a obtener un conocimiento comprensivo de cómo responde el cuerpo al ejercicio, permitiendo así una prescripción de programas de entrenamiento y ejercicios más efectiva.

CONCLUSIONES

El estudio actual fue el primero en identificar la asociación entre el RRB y VT en participantes sedentarios desentrenados utilizando un protocolo submáximo en cinta rodante. Por otra parte nosotros no encontramos ninguna asociación entre las mismas variables fisiológicas durante el test máximo inicial lo que sugiere que una prueba máxima podría ser demasiado intensa para identificar un parámetro submáximo como VT. Este estudio también utilizó una técnica relativamente nueva, aunque previamente validada de regresión polinómica para identificar el RRB. El uso de RR para estimar el VT se vuelve atractivo ya que RR puede ser medida por los movimientos de una válvula sin reinhalación de dos vías o por datos registrados en los sensores de movimiento respiratorios portables, en lugar del costoso sistema de medición de metabolismo estándar. Aun cuando estos dispositivos de registro no estén disponibles para los investigadores, el análisis de RR puede proveer un criterio adicional para mejorar la confianza en la determinación de VT. Cuando el método de RRB sea validado, la RR podría transformarse en el único marcador fisiológico para evaluar el umbral.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Dr. Mark Janeba por su colaboración con la regresión polinómica utilizada en este estudio.

Dirección de contacto: Stavrianeas, S, PhD, Department of Exercise Science, Willamette University, Salem, OR, 97301. Phone: (503)370-6392; FAX: (503)370-6379; stas@willamette.edu

REFERENCIAS

1. Amann M, Subudhi AW, Foster C (2006). Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. *Scand J Med Sci Sports*; 16(1):27-34
2. Amann M, Subudhi AW, Walker J, Eisenman P, Shultz B, Foster C (2004). An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*; 36(10):1716-22
3. Berry M, Robergs RA, Weyrich AS, Puntenney PJ (1988). Ventilatory responses of trained and untrained subjects during running and walking. *Int J Sports Med*; 9(5):325-9
4. Cannon DT, Kolkhorst FW, Buono MJ (2009). On the determination of ventilatory threshold and respiratory compensation point via respiratory frequency. *Int J Sports Med*; 30(3):157-62
5. Carey D, Hughes J, Raymond R, Pliego G (2005). The respiratory rate as a marker for the ventilatory threshold: Comparison to other ventilatory parameters. *JEPonline*; 8(2):30-8
6. Carey D, Pliego G, Raymond R (2008). How endurance athletes breathe during incremental exercise to fatigue: Interaction of tidal volume and frequency. *JEPonline*; 11(4):44-51
7. Cheatham CC, Mahon AD, Brown JD, Bolster DR (2000). Cardiovascular responses during prolonged exercise at ventilatory threshold in boys and men. *Med Sci Sports Exerc*; 32(6):1080-7
8. Cheng B, Kuipers H, Snyder AC, Keizer HA (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med*; 13(7):518
9. Clark JM, Hagerman FC, Gelfand R (1983). Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J Appl Physiol*; 55(2):440-6
10. Cross TJ, Morris NR, Schneider DA, Sabapathy S (2012). Evidence of break-points in breathing pattern at the gas-exchange thresholds during incremental cycling in young, healthy subjects. *Euro J Appl Physiol*; 112(3):1067-76
11. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P (1976). Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol*; 41(4):544-50
12. Ekkekakis P, Lind E, Hall EE, Petruzzello SJ (2008). Do regression-based computer algorithms for determining the ventilatory threshold agree?. *J Sports Sci*; 26(9):967-76
13. James NW, Adams GM, Wilson AF (1989). Determination of anaerobic threshold by ventilatory frequency. *Int J Sports Med*; 10(3):192-6
14. Jasinskas CL, Wilson BA, Hoare J (1980). Entrainment of breathing rate to movement frequency during work at two intensities.

15. Jones A, Doust J (1998). Assessment of the lactate and ventilatory thresholds by breathing frequency in runners. *J Sports Sci*; 16(7):667-75
16. Kang J, Chaloupka EC, Mastrangelo MA, Biren, GB, Robertson RJ (2001). Physiological comparisons among three maximal treadmill exercise protocols in trained and untrained individuals. *Euro . J Appl Physiol*; 84(4):291-5
17. Martin BJ, Weil JV (1979). CO₂ and exercise tidal volume. *J Appl Physiol*; 46(2):322-5
18. McLellan TM (1985). Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: A comparison of methods. *Int J Sports Med*; 6(1):30-5
19. Nabetani T, Ueda T, Teramoto K (2002). Measurement of ventilatory threshold by respiratory frequency. *Percept Mot Skills*; 94(3):851-9
20. Naranjo J, Centeno RA, Galiano D, Beaus M (2005). A nomogram for assessment of breathing patterns during treadmill exercise. *Br J Sports Med*; 39(2):80-3
21. Neary J, Bhambhani YN, Quinney HA (1995). Validity of breathing frequency to monitor exercise intensity in trained cyclists. *Int J Sports Med*; 16(4):255-9
22. Paterson DJ, Wood GA, Marshall RN, Morton AR, Harrison AB (1987). Entrainment of respiratory frequency to exercise rhythm during hypoxia. *J Appl Physiol*; 62(5):1767-71
23. Petibois C, Deleris G (2003). Effect of short- and long-term detraining on the metabolic response to endurance exercise. *Int J Sports Med*; 24:320-5
24. Roffey DM, Byrne NM, Hills AP (2007). Effect of stage duration on physiological variables commonly used to determine maximum aerobic performance during cycle ergometry. *J Sports Sci*; 25(12):1325-35
25. Santos EL, Giannella-Neto A (2004). Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Euro J Appl Physiol*; 93(3):315-24
26. Shimizu M, Myers J, Buchanan, N, et al (1991). The ventilatory threshold: Method, protocol, and evaluator agreement. *Am Heart J*; 122(2):509-16
27. Wasserman K (1978). Breathing during exercise. *N Engl J Med*; 298(14):780-5
28. Wasserman K, Stringer WW, Casaburi R, Koike A, Cooper CB (1994). Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Z Kardiol*; 83:1-12

Cita Original

O'Leary CB, Stavrianeas S. Respiratory Rate and the Ventilatory Threshold in Untrained Sedentary Participants. *JEPonline* 2012;15(4):1-10.