PubliCE, (PubliCE) 2004

Research

Reinvestigación de la Duración Óptima para la Evaluación del VO_2 máx

Todd A Astorino[1], Jeremy C Rietschel[2], Peter A Tam[3], Kris Taylor[3], Stephen M Johnson[3], Thomas P Freedman[3] y Cem E Sakarya[3]

[1]*Department of Kinesiology, California State University, San Marcos, San Marcos, CA 92096, Estados Unidos.*
[2]*Exercise Science Program, Salisbury University, Salisbury, MD 21801, Estados Unidos.*
[3]*Department of Kinesiology, University of Maryland, College Park, College Park, MD 20742, Estados Unidos.*

RESUMEN

El criterio tradicional de 8-12 minutos seguido como la duración óptima para la evaluación del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) fue desarrollado solamente en cinco hombres ancianos durante caminatas en cinta. Sin embargo, no se sabe si este criterio es aplicable a grupos más grandes y más diversos de sujetos más jóvenes, que completen un test progresivo de carrera en cinta. El propósito principal de este estudio fue evaluar la validez de este criterio en una población más grande, joven y heterogénea. Luego de una prueba de familiarización, los sujetos (16 hombres y 10 mujeres) completaron test progresivos en cinta para la medición del VO_2 de aproximadamente 6 (corto=S), 10 (mediano=M) y 14 (largo=L) minutos de duración en días separados. Las velocidades de la cinta fueron elegidas por los sujetos y se mantuvieron constantes durante todas las pruebas, pero el incremento en la inclinación fue manipulado para inducir el agotamiento en la duración deseada. Durante el ejercicio, se obtuvieron en forma continua los datos del intercambio de gases respiración por respiración y de la frecuencia cardíaca (HR). También se obtuvieron muestras sanguíneas post-ejercicio para medir la concentración de lactato sanguíneo ([La]). El VO_2 máx. fue significativamente menor (3.4±0.8L/min) en la prueba L en comparación con la prueba M (3.6±0.8L/min). El VCO_2 máx. y el RERmáx. fueron significativamente menores en la prueba L en comparación con la prueba M. La [La] y HR máximas fueron significativamente menores en la prueba L. Estos datos confirman que los protocolos progresivos en cinta de aproximadamente 7-10 minutos de duración optimizan el VO_2 máx., y que los protocolos de mayor duración (>13min) reducen significativamente el VO_2 máx., el VCO_2 máx. y la HRmáx. Esta duración para el ejercicio progresivo puede aplicarse a la evaluación de personas jóvenes incluyendo mujeres, atletas recreacionales y atletas entrenados en resistencia.

Palabras Clave: carrera en cinta, lactato, fatiga, máximo consumo de oxígeno

INTRODUCCION

El máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.) es una medición fundamental de la fisiología del ejercicio. Es un índice del rendimiento cardiovascular así como también una medición de la capacidad aeróbica (1). Los primeros trabajos de Hill y colaboradores (2) desarrollaron el concepto del VO_2 máx. requiriendo que los hombres corrieran a varias velocidades durante las cuales se obtenían los datos acerca del intercambio de gases cada tres minutos. Sin embargo estas y otras mediciones del VO_2 máx. obtenidas en estudios clásicos (3-5) fueron obtenidas a través de protocolos discontinuos de

ejercicio que son bastante inapropiados para la determinación precisa del VO_2 máx. A pesar de evaluación generalizada del VO_2 máx. en clínicas, gimnasios y en la investigación, todavía tiene que identificarse la duración óptima de ejercicio que produzca una medición precisa del mismo en una amplia variedad de individuos, incluyendo hombres y mujeres jóvenes sedentarios, recreacionalmente activos o entrenados en resistencia.

Una investigación previa (3) que requirió que 15 hombres (edad igual a 32.0 años) completaran los protocolos de Bruce, Balke y Taylor tres veces en un período de 9 semanas demostraron que el VO_2 máx. es 7-10% mayor en respuesta al protocolo de Taylor (duración igual a 12 minutos) en comparación con los protocolos progresivos que se realizan caminando. Pollock et al. (6) administraron protocolos para la medición del VO_2 máx. incluyendo el test de Balke, el protocolo de Bruce, y el protocolo Ellestad y Astrand a 51 hombres saludables (edad igual a 40.5±5.3 años). Los datos revelaron que el VO_2 máx. es significativamente mayor en respuesta al protocolo de Astrand (41.8±6.7ml.kg^{-1}.min^{-1}, duración igual a 7.8±1.1 minutos) en comparación con el test de Balke (39.4±5.9ml.kg^{-1}.min^{-1}, duración igual a 16.9±3.8 minutos). Estos estudios iniciales sugirieron que los protocolos de caminata/carrera en cinta de aproximadamente 8-12 minutos provocan los mayores valores del VO_2 máx., en comparación con los protocolos máximos de caminata en cinta, pero que todavía debía determinarse si la duración de estos protocolos era adecuada para sujetos jóvenes que completan la prueba en cinta corriendo.

Para identificar el protocolo óptimo para la evaluación de ejercicio en cinta con inclinación, una investigación subsiguiente (1) requirió que 12 hombres saludables completaran varios protocolos progresivos en cinta y cicloergómetro. Los datos demostraron que las duraciones de 10.6, 11.4 y 15.1 minutos resultaron en los mayores valores del VO_2 máx., aunque los mismos fueron obtenidos en un subconjunto de solo cinco hombres saludables (edad media y VO_2 máx. igual a 36.0±9.7 años y 52.0±8.4ml.kg^{-1}.min^{-1}, respectivamente) que completaron un protocolo progresivo de caminata en cinta. Además, la ventilación máxima, el VCO_2 máx., y el pulso de oxígeno fueron significativamente diferentes ($p<0.05$) entre los distintos protocolos en cinta en un rango de 7.0-26.4 minutos. Datos más recientes (7) obtenidos en nueve hombres y mujeres saludables, recreacionalmente activos (edad media y VO_2 máx igual a 27.0±4.0 años, y 4.1±1.1 L/min, respectivamente) que completaron carreras máximas en cinta, no revelaron diferencias en el VO_2 máx. entre los tests de 6 y 12 minutos de duración, aunque la producción cardíaca máxima y el volumen latido fueron significativamente diferentes entre los distintos protocolos.

En atletas recreacionales, es posible que un test progresivo de ejercicio que dure menos de 8 minutos pueda subestimar el VO_2 máx. debido a la mayor contribución glucolítica para la provisión de ATP y el mayor reclutamiento de fibras de contracción rápida (FT). En contraste, el ejercicio progresivo de duración mayor a los 14 minutos puede subestimar el VO_2 máx. debido al potencial aburrimiento y comienzo de la fatiga muscular local. En poblaciones de atletas entrenados en resistencia, los protocolos más cortos pueden revelar valores similares de VO_2 máx. en comparación a los protocolos más largos, ya que los atletas tienden a tener una capacidad aeróbica más desarrollada para tolerar las altas tasas de trabajo consecuentes con el ejercicio cuasi máximo. Sin embargo, las diferencias en la frecuencia cardíaca máxima (HR), el índice de intercambio respiratorio (RER), el índice de esfuerzo percibido (RPE) y la concentración de lactato en sangre ([La]) entre protocolos largos y cortos, pueden indicar una mayor perturbación fisiológica relativa y por los tanto un aumento del estrés físico durante el ejercicio incremental.

Con respecto al criterio de 8-12 minutos desarrollado como la duración óptima del ejercicio incremental (1), parece insensato recomendar esta duración cuando este lineamiento fue desarrollado a partir de una evaluación en cinta con una pequeña muestra de hombres ancianos. Los resultados de dicha muestra son poco generalizables para la mayoría de los sujetos que completan evaluaciones de consumo máximo de oxígeno en investigaciones actuales. Por lo tanto, el propósito principal de la presente investigación fue comparar el VO_2 máx., los datos de intercambio de gases y la [La] de tres protocolos de ejercicio incrementales de diferente duración. Consecuentemente, se recluto un número de sujetos relativamente grande con varios niveles de aptitud física y distinto sexo para confirmar la validez de este criterio en poblaciones más jóvenes y heterogéneas.

METODOS

Sujetos

Un grupo de 27 (16 hombres y 11 mujeres) estudiantes universitarios e individuos del área de la universidad participaron en el presente estudio. Sin embargo, uno de los sujetos no completó la prueba final, por lo tanto los datos reportados son de 26 sujetos. Once hombres (VO_2 máx.≥60ml.kg^{-1}.min^{-1}) eran corredores de equipos de pista y cross country de la universidad; mientras que los restantes 16 sujetos eran hombres y mujeres recreacionalmente activos. Al inicio, los sujetos

dieron su consentimiento informado por escrito y completaron un cuestionario acerca de su historia de salud para confirmar que estaban libres de cualquier condición que evitara que se ejercitaran al VO_2 máx.

Procedimientos

Los sujetos completaron una prueba de familiarización durante la cual se ejercitaron hasta el agotamiento en una cinta motorizada (Quinton Instruments Q55, Series 90, Seattle, WA) y se aclimataron a la adquisición simultánea de los datos del intercambio gaseoso. Durante esta prueba, los sujetos corrían a una velocidad seleccionada por ellos mismos, mientras que la inclinación de la cinta se incrementaba en un 1% a cada minuto, con el propósito de inducir el agotamiento a los 10 minutos aproximadamente. Se hizo énfasis en que los sujetos se ejercitaran hasta el agotamiento. Si los sujetos no alcanzaban el VO_2 máx., confirmado por los criterios estándar (8), la prueba de familiarización se repetía, o se eliminaba al sujeto del estudio. De manera similar, si la duración de la prueba no estaba entre los 8-14 minutos, el test era repetido en otro día manipulando la inclinación de la cinta para inducir el agotamiento en la duración deseada. Sin embargo, todos los sujetos alcanzaron el VO_2 máx. durante esta prueba. Durante la evaluación, se recolectaron continuamente los datos del intercambio gaseoso respiración por respiración (SensorMedics Vmax 29C, Yorba Linda, CA) y los datos de la frecuencia cardíaca (Polar Electro Inc., Woodbury, NY).

Antes de cada visita al laboratorio, se instruyó a los sujetos para que siguieran los lineamientos específicas proporcionados durante la evaluación de familiarización, las cuales incluían, no tomar alcohol, cafeína, o fumar durante 48 hs, y no realizar ejercicios vigorosos en las 12 hs anteriores a la evaluación. Además, los sujetos mantuvieron un registro de sus regímenes dietarios y de ejercicio durante todo el período de evaluación. Todos los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Revisión de Investigación con Humanos de la Universidad.

Protocolos en Cinta

Los sujetos completaron tres tests de VO_2 máx. adicionales de diferente duración, separados por al menos 48 hs. Cada sujeto realizó todos los tests a la misma hora del día. El orden de los tests fue asignado a los sujetos en base un Diseño Cuadrado Latino (9). En base al dato de la inclinación máxima de la cinta obtenida en la prueba de familiarización, se individualizó el incremento de la inclinación por minuto para inducir el agotamiento a cada sujeto en aproximadamente 6, 10 y 14 minutos respectivamente. La velocidad de la cinta fue elegida por los propios sujetos y fue constante en todos los tests. Si un sujeto no completaba el test de VO_2 máx. en la duración asignada, el sujeto retornaba al laboratorio y se ajustaba el incremento en la inclinación para provocar la duración deseada del ejercicio progresivo. Ninguno de los sujetos y ningunos de los investigadores con excepción de aquellos que operaban las cintas, conocía cual era el protocolo específico que se estaba administrando ese día. Una prueba piloto reveló un coeficiente de variación para el VO_2 máx. igual a 3.5%.

Datos Sobre el Intercambio Gaseoso

Durante el ejercicio, los sujetos espiraban a través de una boquilla plástica y una válvula de baja resistencia hacia un tubo conectado a la cámara mezcladora. La ventilación fue medida por medio del flujo de aire inspirado a través de analizadores de gases estándar. Estos analizadores fueron calibrados antes de cada test con el aire de la habitación y con gases de calibración médicamente certificados (26%O_2 y 74%N_2, 16%O_2 y 4%CO_2, respectivamente). Antes de cada prueba experimental, se calibró también el volumen del flujo utilizando una jeringa de 3 L. Las mediciones de la ventilación (VE), consumo de oxígeno (VO_2), producción de dióxido de carbono (VCO_2), índice de intercambio respiratorio (RER) y frecuencia respiratoria (RR), fueron obtenidas respiración por respiración a lo largo de todo el ejercicio. La frecuencia cardíaca se registró telemétricamente durante el ejercicio. Luego de 2-5 minutos de obtención de los datos del intercambio gaseoso en reposo, comenzó el ejercicio, y los sujetos completaron el test progresivo en la duración asignada. Se les instruyó a los sujetos para que continuaran ejercitándose hasta el agotamiento. El test se terminaba cuando el sujeto se tomaba de las barras de seguridad y quitaba los pies de la cinta.

El VO_2 máx. fue confirmado por la incidencia de una meseta en el VO_2 al VO_2 máx. ($\Delta VO_2 \leq 60$ ml/min en el VO_2 y el dato vecino más cercano) y por un RER máximo>1.10. Debido a la ausencia de cualquier criterio generalmente aceptado para la valoración y cuantificación del VO_2 máx. y de la meseta del VO_2, estos criterios fueron desarrollados en 150 sujetos de diferente aptitud física, edad y sexo antes de realizar las evaluaciones en nuestro laboratorio (Astorino, datos no publicados). La HR máxima dentro de los 10 latidos/minutos de la HR máxima estimada a partir de la edad (220-edad) también fue utilizada como criterio secundario para confirmar la incidencia del VO_2 máx. Todos los sujetos excepto uno alcanzaron los dos primeros criterios. El índice de esfuerzo percibido (RPE) (10) se obtuvo a cada minuto durante el ejercicio.

Muestras Sanguíneas

Durante cada prueba, se obtuvieron muestras sanguíneas (25 µL) de la yema de los dedos en reposo e inmediatamente post ejercicio. La concentración de lactato sanguíneo ([La]) fue medida en duplicado utilizando un analizador de lactato (YSI Model #1500, Yellow Springs, OH). Este analizador fue calibrado un patrón de 5mM antes de cada prueba experimental. Debido a problemas técnicos, la [La] se obtuvo solamente en 16 sujetos (nueve corredores varones, siete atletas recreacionales).

Análisis Estadísticos

Todos los datos se presentan como medias±desvío estándar (DE), y fueron analizados utilizando el programa GraphPad Prism Versión 3.0 (San Diego, CA). Se utilizó el análisis de varianza para medidas repetidas para examinar las diferencias en los parámetros del intercambio gaseoso, la HR máxima, y la [La] entre los diferentes tests de VO_2 máx. Si se obtenía un índice F significativo, se utilizaba el test post hoc de Tukey para ubicar las diferencias significativas entre las medias. Se calculó la fortaleza estadística para asegurar que el diseño experimental tuviera la suficiente capacidad de detectar diferencias en el VO_2 máx. entre los protocolos. Con un tamaño de la muestra igual a 20, una fortaleza estadística igual a 0.80 y una desviación estándar igual a 0.112L/min, pudimos detectar una diferencia de 0.117L/min utilizando la prueba t a una sola cola, para datos no apareados con una significancia establecida a 0.01. La significancia estadística fue establecida a 0.05.

RESULTADOS

Los datos demográficos consistentes en la edad media, talla, peso y VO_2 máx. de los 26 sujetos fueron 21.0±3.0 años, 171.8±3.6cm, 65.4±12.2kg, y 54.8±10.2ml.kg^{-1}.min^{-1}, respectivamente.

Debido a que no se hallaron diferencias en los valores medios del VO_2 máx. entre los protocolos en las submuestras de mujeres y corredores entrenados en resistencia, los datos fueron agrupados. Los datos de los 26 sujetos se muestran en la Tabla 1. No se hallaron diferencias en la media de VO_2 máx. entre las pruebas S o M, aunque el VO_2 máx. en la prueba L fue significativamente menor ($p<0.05$). La Figura 1 muestra la respuesta del VO_2 máx. versus el tiempo para los diferentes protocolos en una mujer recreacionalmente activa. En este sujeto, el VO_2 máx. fue mayor en la prueba S (3.22L/min) y en la prueba M (3.24L/min) en comparación con la prueba L (3.16L/min). Las diferencias en el VO_2 máx. entre los diferentes protocolos se muestran en la Figura 2. En comparación con la prueba L, el VO_2 máx. tendió a ser mayor en las pruebas S y M en todos los sujetos sin tener en cuenta el nivel de aptitud física. El VCO_2 y el pulso de O_2 fueron significativamente mayores ($p<0.01$) en las pruebas S y M en comparación con la prueba L. El RER en el VO_2 máx. fue mayor ($p<0.05$) en respuesta a la prueba S (1.19±0.07). Como se esperaba, el tiempo máximo en la cinta y la carga de trabajo pico fueron significativamente diferentes ($p<0.05$) entre los diferentes protocolos. La ventilación y la frecuencia respiratoria (RR) en VO_2 máx. no fueron alteradas por la duración del protocolo.

Parámetro (Media±DE)	Corta (S)	Mediana (M)	Larga (L)
Duración (min) [a]	7.38±0.60	10.50±0.87	13.90±1.34
Velocidad (millas/h)	7.45±1.21	7.45±1.21	7.45±1.21
Inclinación (%) [a]	12.70±2.40	10.50±1.47	8.74±1.47
VO_2 max. (L/min)	3.56±0.83	3.58±0.83	3.45±0.79 [c]
VCO_2 max. (L/min) [a]	4.24±1.05	4.12±1.00	3.89±0.88
V_E max. (L/min)	126.0±27.40	125.0±28.20	121.0±24.90
Pulso de O_2(mL/latido)	19.00±4.61 [d]	18.90±4.68 [d]	18.20±4.34
RER	1.19±0.07	1.15±0.06 [b]	1.13±0.05 [b]
RR (respiraciones/min)	56.30±6.64	58.40±6.37	58.10±7.16

***Tabla 1**. Diferencias en los parámetros del intercambio gaseoso entre los protocolos progresivos de ejercicio de diferente duración. a=diferencia significativa (p<0.05) entre los protocolos; b=significativamente diferente (p<0.05) con respecto a la prueba S; c=significativamente diferente (p<0.05) con respecto a la prueba M; d=significativamente diferente (p<0.05) con respecto a la prueba L. RER índice de intercambio respiratorio, RR=frecuencia respiratoria.*

La HR en el VO_2 máx. fue significativamente más baja ($p<0.05$) en la prueba S (187.0±9.4latidos/min) en comparación con la prueba M (190.0±8.9latidos/min) y la prueba L (190.0±8.3latidos/min). La [La] sanguíneo en la prueba L (8.5±1.4mmol/L) fue significativamente más baja ($p<0.05$) que en la prueba M (9.9±1.7mmol/L) y la prueba S (10.1±2.0mmol(L).

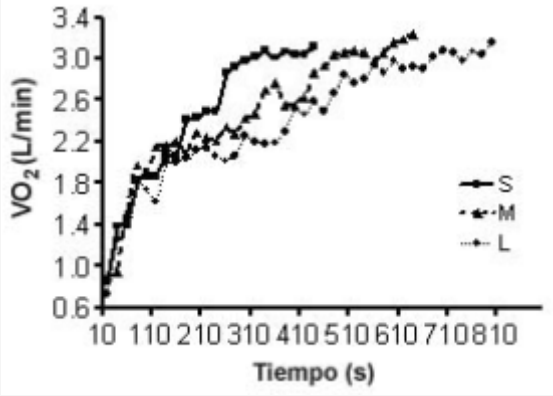


Figura 1. *Respuesta del VO_2 a las diferentes duraciones de ejercicio progresivo en el sujeto 26.*

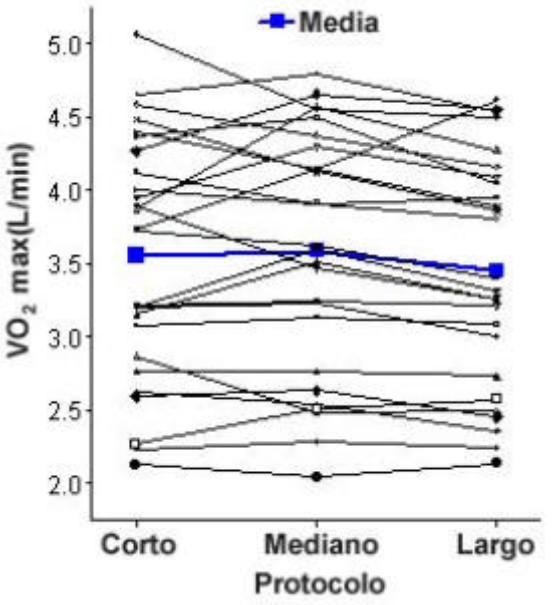


Figura 2. *Cambios intra-sujeto en el VO_2 máx. con las diferentes duraciones del ejercicio progresivo.*

DISCUSION

La presente investigación fue realizada para examinar la validez del criterio previamente establecido, de 8-12 minutos como duración óptima para la evaluación del VO_2 máx. (1). Esta duración ha sido ampliamente utilizada a pesar de que de hecho fue desarrollada a partir de la evaluación en cinta de solo cinco sujetos ancianos saludables. Nuestros resultados de la evaluación de 26 sujetos jóvenes de diferentes sexos y niveles de aptitud física demostraron que el VO_2 máx. es significativamente menor cuando el ejercicio en cinta tiene una duración mayor a los 8-12 minutos recomendados. Además, el VCO_2 máximo, el RER y la [La] fueron significativamente mayores en respuesta al ejercicio progresivo de duración menor a los 8 minutos, lo cual sugiere que los protocolos de ejercicio progresivo de corta duración, provocan una mayor

acidosis metabólica. Estos datos respaldan la utilización del criterio de 8-12 minutos, y extiende su aplicación a la evaluación de sujetos jóvenes, específicamente, a mujeres, atletas recreacionales y a hombres entrenados en resistencia.

Nuestros hallazgos son similares a los datos obtenidos en hombres adultos saludables (edad igual a 39.0 años) (1). En este estudio, los 12 hombres completaron evaluaciones progresivas en cicloergómetro y caminando en cinta, durante las cuales el incremento en la tasa de trabajo fue alterado para manipular el tiempo hasta el agotamiento. Un subconjunto de cinco hombres (edad igual a 36.0 años, en un rango de 28-54 años) con un VO_2 máx. medio de 52.0ml.kg^{-1}.min^{-1} completó múltiples test progresivos en cinta de 7.0-26.4 minutos de duración en días separados para valorar las funciones metabólicas y cardiopulmonares máximas. Los resultados demostraron que el ejercicio progresivo de 10.6, 11.4 y 15.1 minutos optimizaban la evaluación del VO_2 máx. (3.89, 3.94 y 3.99L/min, respectivamente) mientras que los protocolos mas cortos (7.0 minutos) reducían significativamente el VO_2 máx. (3.68L/min). Esto llevó a los autores a concluir que la duración del ejercicio progresivo de 10±2 minutos era la óptima para valorar el VO_2 máx. El VO_2 máx. fue también más bajo en respuesta al ejercicio progresivo que duró 26.4 minutos (3.77L/min), aunque el pequeño tamaño de la muestra eliminó la incidencia de hallazgos estadísticamente significativos. En contraste, nuestros datos obtenidos en un grupo mayor de sujetos de diferentes edades, sexos y niveles de aptitud física revelaron que el VO_2 máx. es significativamente más bajo (4-5%) cuando el ejercicio progresivo tiene una duración mayor a los 13 minutos. El hallazgo de un VO_2 máx. significativamente más bajo en los protocolos de mayor duración fue también demostrado en 51 hombres entrenados en resistencia y sedentarios (6) y en 15 hombres saludables (3). Sin embargo, los sujetos de estos estudios tuvieron que completar los protocolos de ejercicio de Balke y de Bruce los cuales implican principalmente caminar con inclinación y fundamentalmente una inclinación incómoda. Otros datos, sin embargo, no revelaron diferencias en el VO_2 máx. obtenido con protocolos de carreras de diferente duración en adultos (7, 11) y niños (12), aunque el tamaño de las muestras fue menor a diez sujetos.

Cuando se compara el rendimiento cardiovascular máximo entre diferentes protocolos de ejercicio, es esencial que los sujetos alcancen el VO_2 máx. En el presente estudio, antes de la evaluación, todos los sujetos completaron una prueba de familiarización. Esto les permitió a los sujetos adaptarse a la carrera en cinta, así como también al ejercicio hasta el agotamiento. Además, los sujetos eran jóvenes, activos, estaban muy motivados y fueron estimulados verbalmente para correr hasta el agotamiento en todas las evaluaciones. En el presente estudio, la meseta en el VO_2 ($\Delta VO_2 \leq 60$mL/min) y el RER>1.10 fueron los criterios utilizados para confirmar que se alcanzaba el VO_2 máx. Todos los sujetos excepto uno alcanzaron estos criterios. Consecuentemente, se asumió que los sujetos alcanzaron el VO_2 máx.

El VO_2 máx. fue 4% menor en la prueba L en comparación con las pruebas M y S (Tabla 1). Estos resultados son fisiológicamente significativos, ya que se ha reportado que la confiabilidad test-retest para la evaluación del VO_2 máx. es de 2-6% en adultos (13) y de 3-6% en niños (12). En 15 hombres saludables (3), se reportó un coeficiente de variación igual al 4.1% (rango de 0.8-9.3%) para el protocolo de carrera de Taylor, datos que fueron similares a los reportados por Howley et al. (14) en respuesta a 10 mediciones del VO_2 máx. en un solo sujeto. En el presente estudio, la evaluación piloto reveló un coeficiente de variación igual al 3.5% para el VO_2 máx. y el tiempo hasta el agotamiento entre evaluaciones realizadas en cinta en diferentes días en tres sujetos.

Los potenciales factores que explican el menor VO_2 máx. durante la prueba L en el presente estudio incluyen alteraciones en la HR, en el gasto cardíaco (Q), en el volumen sitólico (SV), en la diferencia arterio-venosa (Δ a-vO_2) y en la temperatura corporal. La HR fue significativamente menor ($p<0.05$) en la prueba S en comparación con las pruebas L y M. Un reporte previo (7) concluyó que el Q y SV máximos se reducían significativamente en respuesta a protocolos de ejercicio de larga duración (12.4min) versus protocolos de corta duración (6.7min). De hecho, estos autores afirmaron que el Q es maximizado durante los protocolos que duran entre 5-9 minutos. Con respecto al Δa-vO_2, este estudio (7) no demostró diferencias en la Δa-VO_2 máxima entre los protocolos de larga y de corta duración. Durante los protocolos de larga duración, la temperatura central se puede elevar en un mayor grado, causando vasodilatación periférica y por lo tanto reducir el retorno venoso y el SV. Además, el pulso de O_2 fue significativamente menor durante las pruebas L que en las pruebas M (Tabla 1), sugiriendo una reducción en el VO_2 por latido cardíaco. Por lo tanto, durante los protocolos de mayor duración el transporte de O_2 comprometido debido a las reducciones en el SV y en el Q pueden explicar los menores valores de VO_2 máx. observados en el presente estudio.

Alternativamente, la falla para alcanzar la misma carga máxima de trabajo también puede explicar los menores valores de VO_2 máx. en respuesta a las pruebas L (tiempo en la cinta igual a 13.9±1.3min). Los sujetos alcanzaron una inclinación significativamente más baja en el VO_2 máx. en las pruebas L (8.7±1.5%) en comparación con las pruebas S (12.7±2.4 %) y M (10.5±1.5%). Al ingresar la velocidad y la inclinación máximas de la cinta en la ecuación metabólica del ACSM para la carrera en cinta (8), se obtuvo un valor del VO_2 máx. 5% más bajo en la prueba L (59.1ml.kg^{-1}.min^{-1}) en comparación con la prueba M (62.3ml.kg^{-1}.min^{-1}), lo que constituye una diferencia similar a la observada en el presente estudio.

Al nivel del VO_2 máx., el VCO_2 y el RER fueron significativamente menores en la prueba L en comparación con la prueba M

(Tabla 1). A pesar del hecho de que la ventilación en el VO_2 máx. fue similar entre los protocolos, estos hallazgos sugieren una menor producción de CO_2 no metabólico durante el protocolo de mayor duración. La máxima [La] fue significativamente menor en las pruebas L en comparación con las pruebas M y S, sugiriendo una menor producción de lactato o un mejor clearance en los protocolos con incrementos más graduales en la carga de trabajo. Por ejemplo, el incremento promedio de inclinación por minuto en la prueba S fue aproximadamente de 1.7%/min mientras que fue de 1.0%/min y 0.6%min en las pruebas M y L, respectivamente. El menor incremento en la inclinación de la cinta en la prueba L debe haber inducido tanto una menor contribución de la glucólisis y de la fosfocreatina al metabolismo energético como también un reclutamiento atenuado de las fibras tipo II, respaldando consecuentemente la reducción de la [La]. Los sujetos expresaron un mayor disconfort ventilatorio y en las piernas en respuesta a la prueba S versus la prueba L. En el futuro, las investigaciones deberían examinar la actividad de la piruvato deshidrogenasa y su rol en la regulación de la concentración del lactato sanguíneo durante diferentes protocolos progresivos.

La significancia práctica de estos hallazgos se encuentra en la amplia realización de evaluaciones de VO_2 máx. en la investigación, para la salud, el deporte y la aptitud física. Cuando se prescriban regímenes de ejercicio basados en porcentajes del VO_2 máx., tanto para la mejora de la aptitud física como para la rehabilitación, es preciso utilizar una estimación precisa del VO_2 máx. Segundo, es evidente que el entrenamiento crónico de la resistencia provoca incrementos en el VO_2 máx. y que el mismo juega un rol importante en la clasificación del rendimiento de resistencia. Tercero, la duración del protocolo debería ser tolerable para el sujeto. Finalmente, para realizar mejores comparaciones del VO_2 máx. entre diferentes estudios, sería conveniente que todos los científicos adoptaran este criterio de 8-12 minutos cuando administren test progresivos de ejercicio a los sujetos.

Conclusiones

Nuestro resultados obtenidos en 26 sujetos de diferentes sexos y niveles de aptitud física respaldan la utilización de la duración de 8-12 minutos para el ejercicio progresivo, ya que el VO_2 máx. es significativamente mayor en respuesta a protocolos progresivos de aproximadamente 7-10 minutos de duración. La HR máxima, RER, VCO_2, pulso de O_2 y la [La] fueron también significativamente diferentes entre los protocolos. Los cambios en la temperatura muscular, el transporte de O_2 y el equilibrio ácido básico de la sangre podrían explicar los menores valores de VO_2 máx. observados en respuesta a los protocolos de mayor duración. El criterio de 8-12 minutos puede ser aplicado a mujeres jóvenes, atletas entrenados en resistencia y deportistas recreacionales cuando completan una test progresivo en cinta rodante, aunque la utilización de este criterio durante una evaluación en bicicleta ergométrica todavía debe ser investigado.

Agradecimientos

Estamos en deuda con el entusiasmo y el esfuerzo puesto por nuestros sujetos durante la realización de este proyecto.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Todd A. Astorino, Ph.D, EPC, Assistant Professor, Department of Kinesiology, California State University, San Marcos, 333 S. Twin Oaks Valley Rd, Science 2, Room 227, San Marcos, CA 92096-0001, astorino@csusm.edu, Teléfono: (760) 750-7351, Fax: (760) 750-3439.

REFERENCIAS

1. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol; 55: 1558-64*
2. Hill AV, Lupton H (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Q J Med; 16: 135-71*
3. Froelicher VF, Brammell H, Davis G, Noguera I, Stewart A, Lancaster MC (1974). A comparison of three maximal treadmill protocols. *J Appl Physiol; 36: 720-5*
4. Mitchell JH, Blomqvist G (1973). Maximal oxygen uptake. *N Engl J Med;284:1018-22*
5. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol; 8: 73-80*
6. Pollock ML, Bohannon RL, Cooper KH, Ayres JJ, Ward A, White SR (1976). A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Amer Heart J;92:39-46*
7. McCole SD, Davis AM, Feuger PT (2001). Is there a disassociation between maximal oxygen consumption and maximal cardiac output?. *Med Sci Sports Exerc;33:1265-9*
8. American College of Sports Medicine (2000). Guidelines for exercise testing and prescription. *Philadelphia, PA: Lippincott, Williams, & Wilkins, p.303*

9. Keppel G. Design and analysis (1983). A researcher□s handbook. *London: Prentice Hall*
10. Borg GAV (1982). sychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc; 14: 377-81*
11. Stamford BA (1976). Step increment versus constant load tests for determination of maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol; 35: 89-93*
12. Paterson DH, Cunningham DA, Donner A (1981). The effect of different treadmill speeds on the variability of VO2max in children. *Eur J Appl Physiol;47:113-22*
13. Katch VL, Sady SS, Freedson P (1982). Biological variability in maximum aerobic power. *Med Sci Sports Exerc; 14: 21-5*
14. Howley ET, Bassett DR, Welch HG (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc;27:1292-1301*