

Selected Papers from Impact

Predicción de la Capacidad de Ejercicio y Prescripción de Entrenamiento a Partir de la Prueba de Caminata de 6 Minutos y Calificación del Esfuerzo Percibido

Prediction of Exercise Capacity and Training Prescription from the 6-Minute Walk Test and Rating of Perceived Exertion

John P. Porcari¹, Carl Foster¹, Maria L. Cress¹, Rachel Larson¹, Hannah Lewis¹, Cristina Cortis², Scott Doberstein¹, Marc Donahue³, Andrea Fusco² y Kimberly Radtke¹

¹Department of Exercise and Sport Science, University of Wisconsin-La Crosse, La Crosse, WI 54601, USA

²Department of Human Sciences, Society and Health, University of Cassino and Lazio Meridionale, 03043 Cassino, Italy

³Mayo Clinic Health System, La Crosse, WI 54601, USA

RESUMEN

Las pruebas de caminata, como la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT), son métodos populares para estimar el consumo máximo de oxígeno (VO₂pico) en poblaciones clínicas. Sin embargo, la fuerza de la relación distancia vs VO₂pico no es fuerte y no existen ecuaciones para estimar el umbral ventilatorio (VT), que es importante para la prescripción y el pronóstico del entrenamiento. Dado que el test de 6MWT a menudo es limitado por la mecánica de la marcha, las ecuaciones de predicción que incluyen predictores adicionales simples, como la clasificación terminal del esfuerzo percibido (RPE), tienen el potencial de mejorar la predicción del VO₂máx y el VT. Por lo tanto, este estudio se diseñó para desarrollar ecuaciones para predecir el VO₂pico y el VT a partir del rendimiento durante el test de 6MWT, sobre la base del rendimiento al caminar y el RPE terminal. Los pacientes clínicamente estables en un programa de rehabilitación cardíaca (N = 63) realizaron el test de 6MWT de acuerdo con las guías de la American Thoracic Society. Al final de cada caminata, el sujeto proporcionaba su RPE terminal en una escala de Borg de 6 a 20. Cada paciente también realizó una prueba en cinta rodante incremental máxima con intercambio de gases respiratorios para medir el VO₂pico y el VT. Hubo una buena correlación entre el VO₂pico y la distancia del test 6MWT ($r = 0.80$) que se mejoró al agregar el RPE terminal en una fórmula de regresión múltiple (6MWT + RPE, $R^2 = 0.71$, error estándar de estimación, SEE = 1.3 Equivalentes metabólicos (MET)). El VT también se correlacionó bien con el rendimiento de la caminata, la distancia del test de 6MWT ($r = 0.80$), y se mejoró mediante la adición del RPE terminal (6MWT + RPE, $R^2 = 0.69$, SEE = 0.95 MET). La adición del RPE terminal a la distancia del test de 6MWT mejoró la predicción de los METs máximos y los METs en el VT, que pueden tener aplicaciones prácticas para la prescripción de ejercicio.

Palabras Clave: aptitud física, carga interna, RPE, rendimiento

ABSTRACT

Walking tests, such as the 6-min walk test (6MWT), are popular methods of estimating peak oxygen uptake (VO_{2peak}) in clinical populations. However, the strength of the distance vs. VO_{2peak} relationship is not strong, and there are no equations for estimating ventilatory threshold (VT), which is important for training prescription and prognosis. Since the 6MWT is often limited by walking mechanics, prediction equations that include simple additional predictors, such as the terminal rating of perceived exertion (RPE), hold the potential for improving the prediction of VO_{2max} and VT. Therefore, this study was designed to develop equations for predicting VO_{2peak} and VT from performance during the 6MWT, on the basis of walking performance and terminal RPE. Clinically stable patients in a cardiac rehabilitation program ($N = 63$) performed the 6MWT according to the American Thoracic Society guidelines. At the end of each walk, the subject provided their terminal RPE on a 6–20 Borg scale. Each patient also performed a maximal incremental treadmill test with respiratory gas exchange to measure VO_{2peak} and VT. There was a good correlation between VO_{2peak} and 6MWT distance ($r = 0.80$) which was improved by adding the terminal RPE in a multiple regression formula (6MWT + RPE, $R^2 = 0.71$, standard error of estimate, SEE = 1.3 Metabolic Equivalents (METs)). The VT was also well correlated with walking performance, 6MWT distance ($r = 0.80$), and was improved by the addition of terminal RPE (6MWT + RPE, $R^2 = 0.69$, SEE = 0.95 METs). The addition of terminal RPE to 6MWT distance improved the prediction of maximal METs and METs at VT, which may have practical applications for exercise prescription.

Keywords: physical fitness, internal load, RPE, performance

INTRODUCCIÓN

La capacidad de ejercicio es una expresión cuantitativa importante de la capacidad para realizar actividad muscular. Específicamente, el consumo máximo de oxígeno (VO_{2pico}), utilizado cuando no hay una prueba confirmatoria para demostrar que un VO_{2pico} medido individualmente es equivalente a la definición clásica de $VO_{2máx}$, y el umbral ventilatorio (VT) está bien correlacionado con el rendimiento en individuos capaces de realizar ejercicio pesado prolongado [1, 2, 3]. Como integrador de los elementos de la ecuación de Fick, el VO_{2pico} es un fuerte índice de la función cardiopulmonar global [4] y un predictor muy fuerte de supervivencia en poblaciones clínicas [5,6,7,8]. De manera similar, el VT, aunque es un concepto fisiológicamente complejo [9], ha llegado a reconocerse como una mejor medida de la capacidad de ejercicio que el VO_{2pico} en relación con la capacidad para realizar las actividades diarias [2, 3]. También se ha demostrado que es un indicador de pronóstico importante [10,11]. Normalmente, se requiere una prueba de esfuerzo cardiopulmonar (que es técnicamente exigente) [12] para medir el VO_{2pico} y el VT. Sin embargo, la prueba de esfuerzo cardiopulmonar normalmente sólo se realiza con el propósito de explorar el diagnóstico diferencial de la disnea o para determinar si existe una explicación del sistema multiorgánico de la intolerancia al ejercicio.

Tradicionalmente, el VO_{2pico} y el VT se miden en el laboratorio, durante un ejercicio incremental, en una cinta ergométrica o en un cicloergómetro, con medición directa del intercambio gaseoso respiratorio y/o la acumulación de lactato [12,13]. Sin embargo, los requisitos técnicos para realizar tales evaluaciones son considerables. Se han desarrollado una variedad de ecuaciones predictivas para el VO_{2pico} [14, 15, 16]. Aunque proporcionan una precisión razonable, por lo general requieren una prueba de esfuerzo máximo, que puede ser exigente y desagradable para los pacientes y puede presentar al menos algunos problemas de seguridad [17]. En consecuencia, han surgido varios métodos menos exigentes desde el punto de vista técnico, basados en patrones ambulatorios del mundo real [6, 7, 18, 19, 20, 21, 22] que se utilizan ampliamente en las comunidades de fisiología del ejercicio físico y clínico. En particular, la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT) en poblaciones clínicas [6,7] y la prueba de caminata de 1 milla de Rockport [21] y la prueba de caminata de 2 km [22] en poblaciones de fitness, han demostrado su utilidad en términos de predecir el VO_{2pico} . Los datos recientes también han sugerido que el VT puede predecirse a partir de pruebas de ejercicio incrementales basadas en medidas de rendimiento simples [23, 24, 25, 26].

En algunas de las pruebas de caminata utilizadas para predecir la capacidad funcional, la estrategia analítica se basa en comenzar con una estimación de la población, con esa estimación ajustada para el rendimiento de la caminata y con ajustes adicionales realizados sobre la base de la frecuencia cardíaca terminal (FC) (por ej., menor reducciones de puntos sobre la base de tiempos de caminata más cortos o una frecuencia cardíaca terminal más baja). Algunas ecuaciones [21, 22] también se ajustan sobre la base de otras variables como la edad, el sexo, la altura, el peso o el índice de masa corporal (IMC). Esta solución es atractiva y relativamente simple, con estudios independientes que demuestran buenas estimaciones del VO_{2pico} en comparación con el rendimiento al caminar solamente [23].

Sin embargo, debido a la amplia variabilidad interindividual en la respuesta de la FC y de la FC máxima, y al profundo efecto de muchos medicamentos sobre la respuesta de la FC, sería deseable encontrar un método para reemplazar la medida de la FC en estas ecuaciones de predicción. Eston y cols. [20] han sugerido que la progresión de la calificación del esfuerzo percibido (RPE) durante el ejercicio incremental puede usarse como una herramienta para predecir el $VO_{2\text{pico}}$. Siguiendo esta línea de pensamiento, Alamji y cols. [23] han sugerido que el RPE también podría usarse para predecir el umbral ventilatorio (VT).

Dado que las pruebas de caminata simples como la prueba de 6MWT son mucho más evaluables para la comunidad que hace ejercicio, que las pruebas de laboratorio, y que la mayor parte del entrenamiento se lleva a cabo a intensidades justo por debajo del VT [3], este estudio fue diseñado para determinar si los datos del test de 6MWT, con el rendimiento de la marcha y el RPE terminal como variables predictoras, podría utilizarse para desarrollar ecuaciones de predicción adecuadas para el $VO_{2\text{pico}}$ y el VT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los sujetos del estudio fueron 63 voluntarios adultos. Todos participaban en un programa de rehabilitación cardíaca de fase II o en un programa de ejercicio comunitario, diseñado para la prevención primaria y secundaria de enfermedades cardiovasculares. Los diagnósticos de los pacientes fueron convencionales: angina de pecho estable (n = 2), post-infarto de miocardio (n = 22), post-cirugía de revascularización (n = 18), post-intervención percutánea (n = 14), insuficiencia cardíaca estable (n = 7) y factores de riesgo de enfermedad cardiovascular (n = 25). El protocolo de investigación fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional para la Protección de Sujetos Humanos de la Universidad de Wisconsin-La Crosse (Protocolo 13-HB-001, aprobado el 13 de diciembre de 2013). Todos los sujetos proporcionaron su consentimiento informado por escrito antes de participar.

Cada sujeto realizó una prueba de esfuerzo incremental en cinta rodante hasta la fatiga o signos y síntomas clínicos [13] con monitorización electrocardiográfica (ECG) y hemodinámica continua. Se utilizó un protocolo tipo Balke modificado, con la velocidad de la cinta seleccionada individualmente para representar una caminata cómoda durante la primera etapa de 2 minutos, y con incrementos posteriores en la carga de trabajo proporcionados por incrementos del 2% en la pendiente de la cinta en cada etapa. El metabolismo respiratorio se midió con espirometría de circuito abierto utilizando un sistema metabólico basado en una cámara mixta (AEI Industries, Pittsburgh, PA, EE. UU.). El neumotacómetro se calibró con una jeringa de 3 L y los analizadores de gases se calibraron utilizando un gas de referencia (4% CO₂, 16% O₂) y aire ambiente. El intercambio de gases se integró cada 30 seg, y el VO₂ más alto de 30 seg se aceptó como el $VO_{2\text{pico}}$. El VT se identificó utilizando tanto el método de pendiente en V como el equivalente ventilatorio [2]. Debido a que la intención del estudio era predecir la capacidad de ejercicio a partir del rendimiento del test de 6MWT, el $VO_{2\text{pico}}$ y el VO₂ en el VT (VO_{2@VT}) se expresaron como equivalentes metabólicos máximos (MET) (Máx METs) y MET en el VT (METs@VT), ya que sentimos que esto era clínicamente más relevante y comparable a las estimaciones de la capacidad de ejercicio basadas en el rendimiento en los protocolos de ejercicio estándar [13,14,15,16]. En un día separado, siempre dentro de las 72 h, cada sujeto realizó un test de 6MWT en una marca de 30 m con condiciones estándar e indicaciones, según la *American Thoracic Society* [27]. La distancia completada se midió al metro más cercano usando vueltas completadas e interpolación entre conos colocados a intervalos de 5 m en el recorrido de la caminata. A los 30 seg de concluir el test de 6MWT, se midió el RPE terminal utilizando la escala de Borg clásica (6-20) [28]. Las instrucciones para el uso de la escala de RPE se habían discutido con el sujeto antes del inicio de la prueba de 6MWT.

Las relaciones del test de 6MWT con Máx METs y METs@VT se realizaron mediante regresión lineal. De manera similar, las relaciones del RPE terminal con Máx METs y METs@VT se realizaron mediante regresión lineal. Las ecuaciones de regresión para predecir los METs máximos y los METs@VT se construyeron utilizando regresión lineal múltiple con un enfoque escalonado, con la distancia del test de 6MWT ingresada primero y el RPE terminal ingresado en segundo lugar.

RESULTADOS

Las características de los sujetos se presentan en la Tabla 1, con los sujetos presentados tanto por sexo como un grupo total. Eran ampliamente representativos de los pacientes en los programas contemporáneos de prevención/rehabilitación en términos de edad, diagnósticos y medicamentos.

Tabla 1. Media y desviación estándar de las características de los sujetos.

Characteristics	Men (n = 46)	Women (n = 17)	Total (n = 63)
Age (years)	60.2 ± 9.7	55.4 ± 10.1	59.6 ± 10.0
Height (m)	1.78 ± 0.06	1.62 ± 0.06	1.74 ± 0.09
Weight (kg)	94.4 ± 19.1	65.4 ± 12.7	86.8 ± 21.8
6MWT Distance (m)	583 ± 106	600 ± 87	587 ± 101
6MWT RPE	12.1 ± 2.0	12.3 ± 2.3	12.1 ± 2.1
Max METS	7.8 ± 2.3	8.4 ± 2.4	8.1 ± 2.4
METS@VT	5.8 ± 1.4	6.8 ± 2.0	5.9 ± 1.7
Maximal HR	144 ± 24	161 ± 21	149 ± 24

6MWT: 6-min walk test; RPE: rating of perceived exertion; Max METS: maximal Metabolic Equivalents; METS@VT: Metabolic Equivalents at ventilatory threshold; HR: heart rate.

Las relaciones bivariadas entre la distancia del test de 6MWT versus los METs máximos y los MET@VT, y entre el RPE terminal versus los METs máximos y los MET@VT, se presentan en la Figura 1. Hubo una correlación simple fuerte y significativa entre la distancia del test de 6MWT versus los METs máximos ($r = 0.80$) y MET@VT ($r = 0.80$), y una correlación débil pero estadísticamente significativa entre el RPE terminal versus METs máx. ($R = 0.30$) y MET@VT ($r = 0.23$).

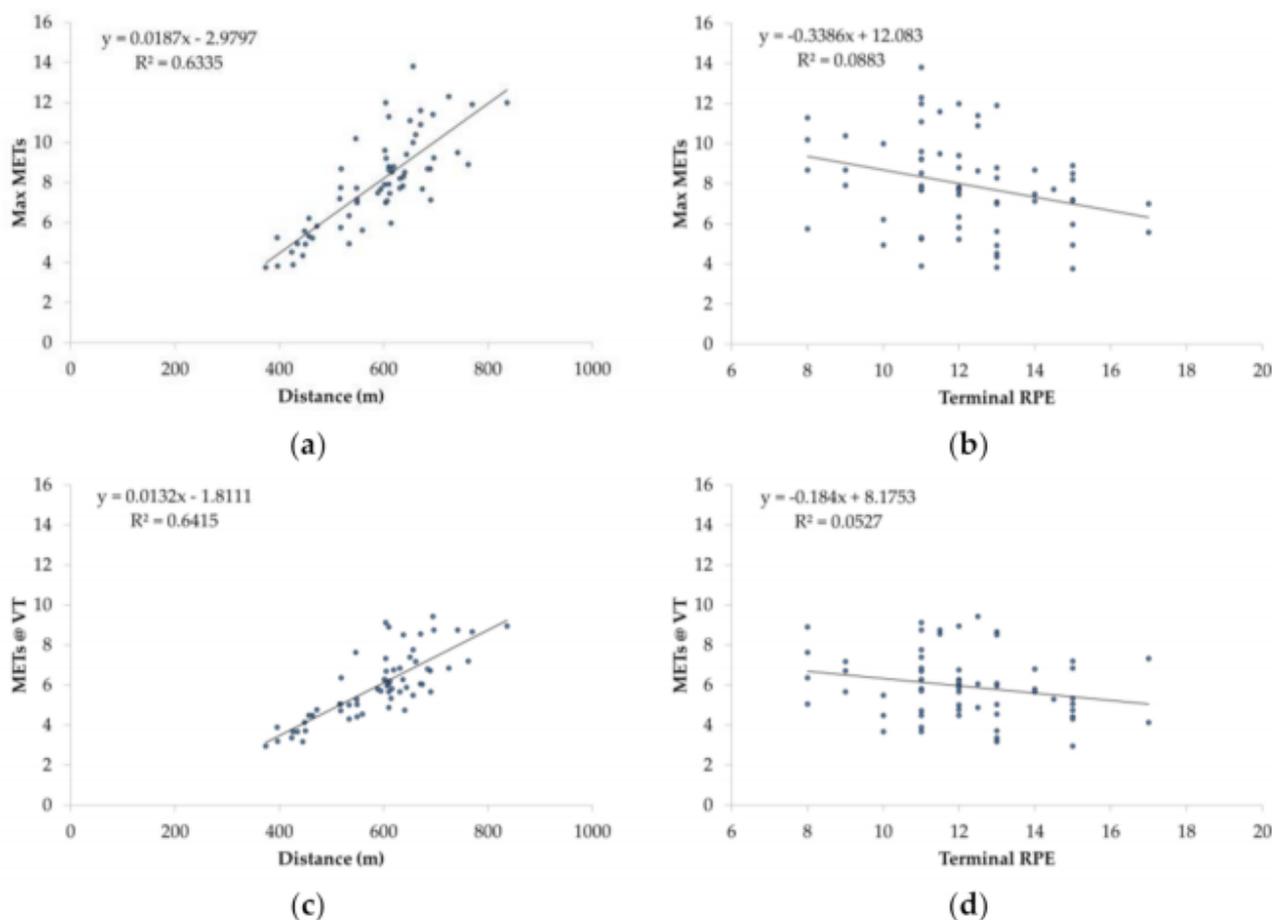


Figura 1. Relación bivariada entre la distancia de la prueba de caminata de 6 min (6MWT) y los equivalentes metabólicos máximos (Máx METs, (a)), la clasificación terminal del esfuerzo percibido (RPE) y Máx METs (b), la distancia de 6MWT y equivalentes metabólicos en el umbral ventilatorio (METS@VT, (c)) y el RPE terminal y METs@VT (d).

Cuando la distancia de 6MWT y el RPE terminal se combinaron en una ecuación de regresión múltiple para predecir los METs máximos, el R2 aumentó de 0.63 a 0.71, con un SEE de 1.3 MET y un residual estandarizado de 1.0 MET. La ecuación de predicción fue:

$$\text{METs máx.} = 0.882 + (0.018 * 6\text{MWT m}) - (0.308 * \text{RPE}) \quad (1)$$

Cuando la distancia de 6MWT y el RPE terminal se combinaron en una ecuación de regresión múltiple para predecir MET@VT, el R2 aumentó de 0.64 a 0.69, con un SEE de 0.95 MET y un residual estandarizado de 0.7 MET. La ecuación de predicción fue:

$$\text{MET@VT} = 0.140 + (0.013 * 6\text{MWT m}) - (0.161 * \text{RPE}) \quad (2)$$

Cuando se trazaron las fórmulas de predicción derivadas para los METs máximos y los MET@VT frente a los METs máximos medidos ($r = 0.87$) y los MET a VT ($r = 0.85$), hubo una fuerte relación bivariada para ambos. Las puntuaciones residuales (pronosticadas-observadas) revelaron un valor pequeño tanto para los Máx METS (-0.27 ± 1.24 METs) como para los METs@VT (-0.14 ± 0.92 METs), con la mayoría de los valores atípicos a una capacidad de ejercicio relativamente mayor (Figura 2).

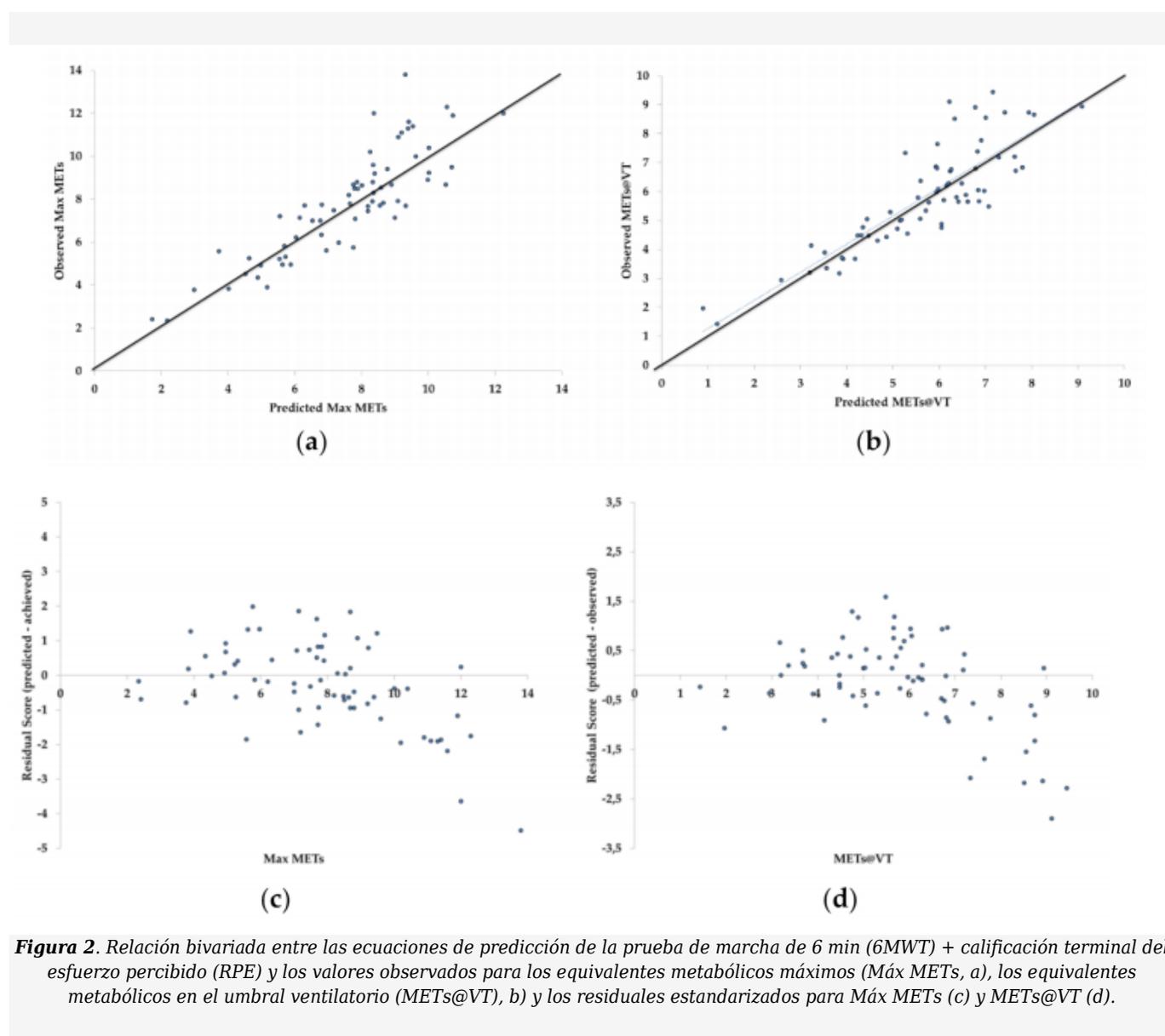


Figura 2. Relación bivariada entre las ecuaciones de predicción de la prueba de marcha de 6 min (6MWT) + calificación terminal del esfuerzo percibido (RPE) y los valores observados para los equivalentes metabólicos máximos (Máx METs, a), los equivalentes metabólicos en el umbral ventilatorio (METs@VT, b) y los residuales estandarizados para Máx METs (c) y METs@VT (d).

Las presentaciones tabulares de Máx MET y de MET@VT en relación con la distancia de 6MWT y el RPE terminal se

presentan en la Tabla 2 y en la Tabla 3. En términos de conveniencia de uso, es simple comparar la distancia de 6MWT y el RPE terminal para derivar los METs y los METs@VT.

Tabla 2. Estimación de los equivalentes metabólicos máximos en relación con la distancia (m) de la prueba de marcha de 6 min (6MWT) y el índice terminal de esfuerzo percibido (RPE). Para mayor comodidad de la presentación, la distancia de 6MWT se incrementa en 50 m. Sin embargo, como la ecuación es lineal, la interpolación de valores intermedios es apropiada.

Distance (m)	RPE														
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
200	2.63	2.33	2.02	1.71	1.40										
225	3.08	2.78	2.47	2.16	1.85	1.54									
250	3.53	3.23	2.92	2.61	2.30	1.99	1.69								
275	3.98	3.68	3.37	3.06	2.75	2.44	2.14	1.83	1.52						
300	4.43	4.13	3.82	3.51	3.20	2.89	2.59	2.28	1.97	1.66					
325	4.88	4.58	4.27	3.96	3.65	3.34	3.04	2.73	2.42	2.11	1.80				
350	5.33	5.03	4.72	4.41	4.10	3.79	3.49	3.18	2.87	2.56	2.25	1.95	1.64		
375	5.78	5.48	5.17	4.86	4.55	4.24	3.94	3.63	3.32	3.01	2.70	2.40	2.09	1.78	
400	6.23	5.93	5.62	5.31	5.00	4.69	4.39	4.08	3.77	3.46	3.15	2.85	2.54	2.23	1.92
425	6.68	6.38	6.07	5.76	5.45	5.14	4.84	4.53	4.22	3.91	3.60	3.30	2.99	2.68	2.37
450	7.13	6.83	6.52	6.21	5.90	5.59	5.29	4.98	4.67	4.36	4.05	3.75	3.44	3.13	2.82
475	7.58	7.28	6.97	6.66	6.35	6.04	5.74	5.43	5.12	4.81	4.50	4.20	3.89	3.58	3.27
500	8.03	7.73	7.42	7.11	6.80	6.49	6.19	5.88	5.57	5.26	4.95	4.65	4.34	4.03	3.72
525	8.48	8.18	7.87	7.56	7.25	6.94	6.64	6.33	6.02	5.71	5.40	5.10	4.79	4.48	4.17
550	8.93	8.63	8.32	8.01	7.70	7.39	7.09	6.78	6.47	6.16	5.85	5.55	5.24	4.93	4.62
575	9.38	9.08	8.77	8.46	8.15	7.84	7.54	7.23	6.92	6.61	6.30	6.00	5.69	5.38	5.07
600	9.83	9.53	9.22	8.91	8.60	8.29	7.99	7.68	7.37	7.06	6.75	6.45	6.14	5.83	5.52
625	10.28	9.98	9.67	9.36	9.05	8.74	8.44	8.13	7.82	7.51	7.20	6.90	6.59	6.28	5.97
650	10.73	10.43	10.12	9.81	9.50	9.19	8.89	8.58	8.27	7.96	7.65	7.35	7.04	6.73	6.42
675	11.18	10.88	10.57	10.26	9.95	9.64	9.34	9.03	8.72	8.41	8.10	7.80	7.49	7.18	6.87
700	11.63	11.33	11.02	10.71	10.40	10.09	9.79	9.48	9.17	8.86	8.55	8.25	7.94	7.63	7.32

Tabla 3. Estimación de los equivalentes metabólicos en el umbral ventilatorio en relación con la distancia (m) de la prueba de caminata de 6 min (6MWT) y la calificación terminal del esfuerzo percibido (RPE). Para mayor comodidad de la presentación, la distancia de 6MWT se incrementa en 50 m. Sin embargo, como la ecuación es lineal, la interpolación de valores intermedios es apropiada.

Distance (m)	RPE														
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
200	1.83	1.68	1.53	1.38	1.23										
225	2.10	1.94	1.78	1.62	1.46										
250	2.42	2.26	2.10	1.94	1.78	1.62	1.46								
275	2.75	2.59	2.43	2.27	2.11	1.94	1.78	1.62	1.46						
300	3.07	2.91	2.75	2.59	2.43	2.27	2.11	1.95	1.79	1.63	1.46				
325	3.40	3.24	3.08	2.92	2.76	2.59	2.43	2.27	2.11	1.95	1.79	1.63	1.47		
350	3.72	3.56	3.40	3.24	3.08	2.92	2.76	2.60	2.44	2.28	2.11	1.95	1.79	1.63	
375	4.05	3.89	3.73	3.57	3.41	3.24	3.08	2.92	2.76	2.60	2.44	2.28	2.12	1.96	1.80
400	4.37	4.21	4.05	3.89	3.73	3.57	3.41	3.25	3.09	2.93	2.76	2.60	2.44	2.28	2.12
425	4.70	4.54	4.38	4.22	4.06	3.89	3.73	3.57	3.41	3.25	3.09	2.93	2.77	2.61	2.45
450	5.02	4.86	4.70	4.54	4.38	4.22	4.06	3.90	3.74	3.58	3.41	3.25	3.09	2.93	2.77
475	5.35	5.19	5.03	4.87	4.71	4.54	4.38	4.22	4.06	3.90	3.74	3.58	3.42	3.26	3.10
500	5.67	5.51	5.35	5.19	5.03	4.87	4.71	4.55	4.39	4.23	4.06	3.90	3.74	3.58	3.42
525	6.00	5.84	5.68	5.52	5.36	5.19	5.03	4.87	4.71	4.55	4.39	4.23	4.07	3.91	3.75
550	6.32	6.16	6.00	5.84	5.68	5.52	5.36	5.20	5.04	4.88	4.71	4.55	4.39	4.23	4.07
575	6.65	6.49	6.33	6.17	6.01	5.84	5.68	5.52	5.36	5.20	5.04	4.88	4.72	4.56	4.40
600	6.97	6.81	6.65	6.49	6.33	6.17	6.01	5.85	5.69	5.53	5.36	5.20	5.04	4.88	4.72
625	7.30	7.14	6.98	6.82	6.66	6.49	6.33	6.17	6.01	5.85	5.69	5.53	5.37	5.21	5.05
650	7.62	7.46	7.30	7.14	6.98	6.82	6.66	6.50	6.34	6.18	6.01	5.85	5.69	5.53	5.37
675	7.95	7.79	7.63	7.47	7.31	7.14	6.98	6.82	6.66	6.50	6.34	6.18	6.02	5.86	5.70
700	8.27	8.11	7.95	7.79	7.63	7.47	7.31	7.15	6.99	6.83	6.66	6.50	6.34	6.18	6.02

Discusión

El principal hallazgo de este estudio fue que agregar el RPE terminal a la distancia de la prueba de 6MWT mejoró significativamente la predicción de los METs máximos. Único en este estudio fue la capacidad de la distancia 6MWT+RPE terminal también para predecir los MET@VT, que es una mejor medida de la capacidad de ejercicio sostenible [2,9], una potente medida emergente de pronóstico [10,11] y una medida muy útil para prescribir ejercicio [3]. También puede ser de particular valor en pacientes con enfermedades cardiovasculares que a menudo toman medicamentos que alteran la respuesta de la frecuencia cardíaca durante la prueba de esfuerzo y el entrenamiento.

La bondad del ajuste de las ecuaciones para predecir los METs máximos a partir de la distancia de 6MWT+RPE terminal ($R^2 = 0.71$) se compara favorablemente con las pruebas de campo que utilizan la distancia de 6MWT ($R^2 = 0.42$) [6], la prueba de caminata de 1 milla de Rockport ($R^2 = 0.78$) [21] o $R^2 = 0.71$) [23], la prueba de carrera y caminata de Cooper de 12 min ($R^2 = 0.80$) [19], o con la extrapolación del RPE submáximo ($R^2 = 0.85$) [20] o ($R^2 = 0.71$) [23]. El SEE para todas estas ecuaciones de predicción es del orden de 1.0 a 1.5 MET. Aunque la correlación entre el tiempo del protocolo en la cinta ergométrica y los METs máximos (por ej., $VO_{2m\acute{a}x}$) es típicamente más alta ($R^2 = 0.83-0.94$), el SEE también suele estar en el rango de 1 MET [15,16,29,30]; por lo tanto, la simplicidad del 6MWT+RPE terminal es muy atractiva.

La predicción de METs@VT se ha realizado más típicamente utilizando porcentajes de la potencia máxima [25], velocidad de carrera [23], RPE [23], o como la etapa equívoca del *Talk Test* [26]. Hasta donde sabemos, no se ha informado previamente de un enfoque para estimar los METs@VT en una población clínica con un enfoque tan simple como el utilizado en este estudio. Dada la importancia del VT en términos de la evaluación del pronóstico [10,11] y la prescripción del ejercicio [3], y la capacidad de los métodos basados en ecuaciones para dar cuenta de los equivalentes de velocidad y del grado de los MET@VT [31], la capacidad de predecir MET@VT a partir de una distancia de 6MWT+RPE terminal puede ser de considerable utilidad.

La carga de trabajo requerida para lograr un valor particular para el porcentaje de Máx METS (% Máx METS), el porcentaje de FC (% FC) de reserva o METs@VT es probablemente menor que la carga de trabajo que genera estos marcadores durante la prueba de esfuerzo. Investigaciones recientes de nuestro laboratorio [30] han sugerido que "traducir" los resultados de la prueba de esfuerzo en entrenamiento físico requiere una regulación a la baja del requisito de MET de la carga de trabajo a ~70-75% de aquél en el que se observa una respuesta fisiológica determinada durante la prueba de esfuerzo. Desde esa perspectiva, considérese un paciente que completa 475 m durante la prueba de 6MWT, con un RPE terminal de 14. Los METs máximos previstos serían 5.12 (Tabla 2) y los MET@VT serían 4.07 (Tabla 3). Traducir al 72% de METs@VT produciría una intensidad de entrenamiento de 2.93 MET. Según las ecuaciones de marcha del *American College of Sports Medicine (ACSM)* [31], esta carga de trabajo debe lograrse durante la marcha en terreno plano a $\sim 1.13 \text{ m} \cdot \text{seg}^{-1}$ (2.5 mph o 4.1 kph). Uno podría anticipar un RPE durante el entrenamiento de ~ 13 (que se ha propuesto como la intensidad "ideal" para muchas personas) [32] y con un habla cómodo aún posible [26]. La carga de entrenamiento puede, por supuesto, ser ajustada después de la primera sesión de entrenamiento, pero esta simple modificación de la prueba de 6MWT y el enfoque simple para traducir a partir de la prueba al entrenamiento [30] sugiere una manera de definir fácilmente el componente de ejercicio del plan de tratamiento individualizado para pacientes en programas de rehabilitación.

Otra ventaja del método de distancia de 6MWT+RPE terminal es la capacidad de realizar evaluaciones de resultados en pacientes que están limitados mecánicamente a una velocidad máxima de caminata. El 6MWT se creó originalmente para pacientes con enfermedad pulmonar o insuficiencia cardíaca [6,7,26], que a menudo tienen una capacidad de ejercicio muy limitada. En ausencia de pruebas de esfuerzo graduadas de rutina y en la necesidad de métodos para la evaluación de resultados, la prueba 6MWT se ha utilizado más recientemente con pacientes relativamente más sanos en programas de rehabilitación cardíaca. Estos pacientes a menudo tienen una mejor capacidad de ejercicio y a menudo se ven limitados por el requisito de caminar sólo durante la prueba 6MWT, con una velocidad máxima de marcha que probablemente no supere los $2.0 \text{ m} \cdot \text{seg}^{-1}$ (4.5 mph o 7.2 km/h), lo que requiere un VO_2 de $\sim 16 \text{ ml} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (~ 4.4 MET) [31]. Dado que la experiencia clínica común muestra que muchos pacientes pueden alcanzar esta velocidad de marcha con mayor o menor comodidad, la evaluación de los resultados en los programas de rehabilitación se ha visto limitada por el uso de la distancia del test de 6MWT solamente. Sin embargo, en un paciente que originalmente camina 450 m con un RPE de 15, que luego camina los mismos 450 m, pero con un RPE de 13, los Máx METs calculados (4.36 a 4.98 METs) y METs@VT (3.58 a 3.90 METs) mejoran en un 14% y un 9%, respectivamente. Además, esta prueba de seguimiento se puede utilizar para actualizar la prescripción del ejercicio.

Aunque el presente estudio proporciona información significativa, deben reconocerse algunas limitaciones. Primero, este estudio es un estudio de cohorte pequeño. Por lo tanto, las investigaciones futuras deberían considerar una muestra más grande. En segundo lugar, el presente estudio no incluyó una gran representación de la población con insuficiencia cardíaca (es decir, posibles candidatos a trasplante de corazón y personas con hipertensión pulmonar) en la que el $VO_{2m\acute{a}x}$ podría tener una gran importancia, en particular, ya que la mayoría de las veces es difícil de obtener. La prueba de

esfuerzo cardiopulmonar en una población con insuficiencia cardíaca y las estimaciones aproximadas basadas en la prueba de 6MWT serán de suma importancia.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que el simple método de agregar el RPE terminal a la distancia del test de 6MWT puede mejorar la estimación de los METs máximos en pacientes en programas de rehabilitación. Además, se puede utilizar para hacer una estimación de los METs@VT, que es importante desde el punto de vista del pronóstico [10,11] como una mejor estimación de la capacidad de ejercicio sostenible [2] y es muy importante prescriptivamente [3]. Por último, este enfoque para estimar los METs máximos y los MET@VT puede proporcionar una solución para estimar los cambios en la capacidad de ejercicio en pacientes que se encuentran mecánicamente en el límite de su capacidad de velocidad al caminar.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiación externa.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

El estudio se realizó de acuerdo con las directrices de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional para la Protección de Sujetos Humanos de la Universidad de Wisconsin-La Crosse (Protocolo 13-HB-001, aprobado el 13 de diciembre de 2013).

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Saltin B., Astrand P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 1967;23:353-358. doi: 10.1152/jappl.1967.23.3.353
2. Foster C., Cotter H.M. (2005). Blood lactate, respiratory and heart rate markers on the capacity for sustained exercise. In: *Maud P.J., Foster C., editors. Physiological Assessment of Human Fitness. 2nd ed. Human Kinetics Press; Champaign, IL, USA: 2005. pp. 63-76*
3. Mezzani A., Hamm L.F., Jones A.M., McBride P.E., Moholdt T., Stone J.A., Urhausen A., Williams M.A. (2012). Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.* 2012;32:327-350. doi: 10.1097/HCR.0b013e3182757050
4. Levine B.D. (2007). VO2max: What do we know, and what do we still need to know? *J. Physiol.* 2008;586:25-34. doi: 10.1113/jphysiol.2007.147629.
5. Myers J., Prakash M., Froelicher V., Do D., Partington S., Atwood J.E. (2002). Exercise Capacity and Mortality among Men Referred for Exercise Testing. *N. Engl. J. Med.* 2002;346:793-801. doi: 10.1056/NEJMoa011858
6. Ross R.M., Murthy J.N., Wollak I.D., Jackson A.S. (2010). The six minute walk test accurately estimates mean peak oxygen uptake. *BMC Pulm. Med.* 2010;10:31. doi: 10.1186/1471-2466-10-31
7. Foreman D.E., Fleg J.K., Kitzman D.W., Brawner C.A., Swank A.M., McKelvie R.S., Clare R.M., Ellis S.J., Dunlap M.E., Bittner V. (2012). 6-min walk test provides prognostic utility comparable to cardiopulmonary exercise testing in ambulatory patients with systolic heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2012;60:2653-2661. doi: 10.1016/j.jacc.2012.08.1010
8. Keteyian S.J., Brawner C.A., Savage P.D., Ehrman J.K., Schairer J., Divine G., Aldred H., Ophaug K., Ades P.A. (2008). Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *Am. Heart J.* 2008;156:292-300. doi: 10.1016/j.ahj.2008.03.017.
9. Poole D.C., Rossiter H.B., Brooks G.A., Gladwell L.B. (2020). The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *J. Physiol.* 2020;599:737-767. doi: 10.1113/jp279963
10. Agostoni P., Corrà U., Cattadori G., Veglia F., Battaia E., La Gioia R., Scardovi A.B., Emdin M., Metra M., Sinagra G., et al. (2013). Prognostic value of indeterminable anaerobic threshold in heart failure. *Circ. Heart Fail.* 2013;6:977-987. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.113.000471
11. Older P.O., Levett D.Z.H. (2017). Cardiopulmonary exercise testing and surgery. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2017;14:S74-S83. doi: 10.1513/AnnalsATS.201610-780FR
12. Arena R.A., Sietima K.E. (2011). Cardiopulmonary exercise testing in the clinical evaluation of patients with heart and lung disease. *Circulation.* 2011;123:668-680. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.914788
13. Foster C., Porcari J.P., Hipp M. (2019). Clinical exercise testing. In: *Thompson W., editor. ACSM's Guidebook for Clinical Exercise Physiologists. Wolters Kluwer; Baltimore, MD, USA: 2019. pp. 349-364*

14. Bruce R.A., Kusumi F., Hosmer D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am. Heart J.* 1973;85:546-562. doi: 10.1016/0002-8703(73).90502-4
15. Foster C., Crowe A.J., Daines E., Dumit M., Green M.A., Lettau S., Thompson N.N., Weymier J. (1996). Predicting functional capacity during treadmill testing independent of exercise protocol. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1996;28:752-756. doi: 10.1097/00005768-199606000-00014
16. McConnell T.R., Foster C., Conlin N.C., Thompson N.N. (1991). Prediction of functional capacity during treadmill testing: Effect of handrail support. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 1991;11:255-260. doi: 10.1097/00008483-199107000-00008
17. Myers J., Voodi L., Umann T., Froelicher V.F. (2000). A Survey of Exercise Testing: Methods, Utilization, Interpretation, and Safety in the VAHCS. *J. Cardiopulm. Rehabil.* 2000;20:251-258. doi: 10.1097/00008483-200007000-00007.
18. Balke B. (1963). A simple field test for the assessment of physical fitness. *CARI Rep.* 1963;63:18-40
19. Cooper K.H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake: Correlation between field and treadmill testing. *JAMA.* 1968;203:135-138. doi: 10.1001/jama.1968.03140030033008
20. Eston R., Lambrecht D., Shephard K., Parfitt G. (2008). Prediction of maximal oxygen uptake from a perceptually regulated sub-maximal graded exercise test. *J. Sports Sci.* 2008;26:131-139. doi: 10.1080/02640410701371364.
21. Kline G.M., Porcari J.P., Hintermeister R., Freedson P.S., Ward A., McCarron R.F., Ross J., Rippe J.M. (1987). Estimation of VO2max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1987;19:253-259. doi: 10.1249/00005768-198706000-00012.
22. Oja P., Laukkanen R., Pasanen M., Tyry T., Vuori I. (1991). A 2-km walking test for assessing the cardiorespiratory fitness of healthy adults. *Int. J. Sports Med.* 1991;12:356-362. doi: 10.1055/s-2007-1024694.
23. Alajmi R.A., Foster C., Porcari J.P., Radtke K., Doberstein S. (2020). Comparison of non-maximal tests for estimating exercise capacity. *Kinesiology.* 2020;52:10-18. doi: 10.26582/k.52.1.2
24. Condello G., Reynolds E., Foster C., De Koning J.J., Casolino E., Knutson M., Porcari J.P. (2014). A simplified approach for estimating the ventilatory and respiratory compensation thresholds. *J. Sports Sci. Med.* 2014;13:309-314
25. De Koning J.J., Noordhof D.A., Uitslag T.P., Galiart R.E., Dodge C., Foster C. (2013). An approach to estimating gross efficiency during high-intensity exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2013;8:682-684. doi: 10.1123/ijsp.8.6.682.
26. Foster C., Porcari J.P., Doro K., Ault S., Dubiel J., Engen M., Kolman D., Xiong S. (2018). Exercise prescription when there is no exercise test: The Talk Test. *Kinesiology.* 2018;50:333-348.
27. American Thoracic Society (2002). ATS statement: Guidelines for the Six-Minute Walk Test. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2002;166:111-117. doi: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102
28. Borg G.A.V. (1998). Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. *Human Kinetics Press; Champaign, IL, USA: 1998.*
29. Pollock M.L., Bohannon R.L., Cooper K.H., Ayres J.J., Ward A., White S.R., Linnerud A.C. (1976). A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am. Heart J.* 1976;92:39-45. doi: 10.1016/S0002-8703(76).80401-2.
30. Pollock M.L., Foster C., Schmidt D.H., Hellman C., Linnerud A.C., Ward A. (1982). Comparative analysis of three protocols for maximal graded exercise testing of women. *Am. Heart J.* 1982;103:363-373. doi: 10.1016/0002-8703(82).90275-7.
31. Foster C., Anholm J., Bok D., Boullosa D., Condello G., Cortis C., Fusco A., Jaime S., De Koning J., Lucia A., et al. (2020). Generalized approach to translating exercise tests and prescribing exercise. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2020;5:63. doi: 10.3390/jfmk5030063.]
32. Parfitt G., Evans H., Eston R. (2012). Perceptually regulated training at RPE13 is pleasant and improves physical health. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2012;44:1613-1618. doi: 10.1249/MSS.0b013e31824d266e

Cita Original

Porcari, J.P.; Foster, C.; Cress, M.L.; Larson, R.; Lewis, H.; Cortis, C.; Doberstein, S.; Donahue, M.; Fusco, A.; Radtke, K. Prediction of Exercise Capacity and Training Prescription from the 6-Minute Walk Test and Rating of Perceived Exertion. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2021, 6, 52. <https://doi.org/10.3390/jfmk6020052>