

Calidad científica de las pruebas de campo para el cálculo del VO₂max. Revisión sistemática

Scientific Quality of Field Tests to Calculate VO₂max: Systematic Review

Qualidade científica das provas de campo para o cálculo do VO₂max. revisão sistemática

Angélica María García García MA¹, Santiago Ramos Bermúdez MA², Oscar David Aguirre Esp. MD³

Recibido: 06 de marzo de 2015 • Aceptado: 07 de septiembre de 2015

Doi: dx.doi.org/10.12804/revsalud14.02.2016.09

Para citar este artículo: García-García AM, Ramos-Bermúdez S, Aguirre OD. Calidad científica de las pruebas de campo para el cálculo del VO₂max. Revisión sistemática. Rev Cienc Salud. 2016;14(2):247-60. doi: dx.doi.org/10.12804/revsalud14.02.2016.09

Resumen

Objetivo: establecer la calidad científica de las pruebas de campo utilizadas para calcular el consumo máximo de oxígeno (VO₂max) en adultos sanos no entrenados. **Materiales y métodos:** se hizo una revisión sistemática de la literatura científica publicada en español, inglés y portugués, entre 1943 y 2013, sobre pruebas diagnósticas para calcular el VO₂max por medio de pruebas de campo, con el propósito de sintetizar los resultados y establecer cuáles son las que mejor se correlacionan con la medición directa (ergoespiometría). Fueron consultadas las bases de datos MedLine, PubMed, ProQuest, Ovid, Hinari, Ebsco y BVS. Se siguieron las recomendaciones del *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* 2006. **Resultados:** inicialmente, 952 artículos, de los cuales después del proceso de descarte, se encontraron diez que cumplían con todos los requisitos. Las pruebas de campo analizadas que se correlacionan bien con el protocolo de laboratorio son el UMTT (1984) con $r = 0,99$, QCST y 1000m para hombres $r = 0,95$; el RWFT para hombres $r = 0,93$; 1,000m para mujeres y 1,5M $r = 0,86$; QCST para mujeres $r = 0,83$ y RWFT para mujeres $r = 0,74$; para adultos el UMTT $r = 0,96$ y 20m-SRT $r = 0,9$. **Conclusiones:** dado el coeficiente de validez y el SEE, es posible utilizar pruebas de campo para calcular rápida y económicamente el VO₂max en adultos sanos no entrenados. Según edad, sexo, condición física y patologías se recomiendan diferentes pruebas de campo.

Palabras clave: aptitud física, resistencia aeróbica, prueba aeróbica, VO₂max, consumo máximo de oxígeno, Rockport test, Harvard step test, Léger test, Queen's college step test.

1 Departamento de Acción Física Humana, Universidad de Caldas. Correo electrónico: angelica.garcia@ucaldas.edu.co

2 Departamento de Acción Física Humana, Universidad de Caldas.

3 Departamento Clínico Quirúrgico, Universidad de Caldas.

Abstract

Objective: To establish the scientific quality of the field tests used to calculate the maximum oxygen consumption (VO₂max) in untrained healthy adults. *Materials and methods:* A systematic review of the scientific literature on diagnostic tests for calculating VO₂max through field tests published between 1943 and 2013 in Spanish, English and Portuguese, in order to synthesize the results and establish which are the best to correlate with direct measurement (ergospirometry). MedLine, PubMed, ProQuest, Ovid, Hinari, Ebsco and BVS databases were consulted. The recommendations of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions 2006 were followed. *Results:* Initially, 952 articles were found, after the elimination process was reached, ten of these met all requirements. Field tests analyzed to correlate well with the laboratory protocol are: UMTT (1984) $r = 0.99$, QCST and 1000m. men $r = 0.95$; RWFT men's $r = 0.93$; 1,000m. Women and 1.5M $r = 0.86$; QCST women $r = 0.83$ and RWFT for women $r = 0.74$, for adults UMTT $r = 0.96$ and 20m-SRT $r = 0.9$. *Conclusions:* Given the validity coefficient and the SEE, it is possible to use field tests to swiftly and economically calculate VO₂max in untrained healthy adults. Different field tests are recommended according to age, gender, physical condition and pathologies.

Keywords: Physical fitness, Aerobic endurance, Aerobic test, VO₂max, Maximum oxygen consumption, Rockport test, Harvard step test, test Léger, Queen's college step test.

Resumo

Objetivo: Estabelecer a qualidade científica das provas de campo utilizadas para calcular o consumo máximo de oxigênio (VO₂max) em adultos não treinados. *Materiais e métodos:* se revisou sistematicamente a literatura científica publicada em espanhol, inglês e português, entre 1943 e 2013, sobre provas diagnósticas para calcular o VO₂max através de provas de campo, com o propósito de sintetizar os resultados e estabelecer quais são as que melhor se correlacionam com a medição direta (ergoespirometria). Foram consultadas as bases de dados MedLine, PubMed, ProQuest, Ovid, Hinari, Ebsco e BVS. Seguiram-se as recomendações do Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions 2006. *Resultados:* Inicialmente 952 artigos, dos quais depois do processo de descarte encontramos dez que cumpriam com todos os requisitos. As provas de campo analisadas que se correlacionam bem com o protocolo de laboratório são: o UMTT (1984) com $r = 0,99$, QCST e 1000m para homens $r = 0,95$; o RWFT para homens $r = 0,93$; 1,000m para mulheres e 1,5M $r = 0,86$; QCST para mulheres $r = 0,83$ e RWFT para mulheres $r = 0,74$; para adultos o UMTT $r = 0,96$ e 20m-SRT $r = 0,9$. *Conclusões:* Dado o coeficiente de validade e o SEE, é possível utilizar provas de campo para calcular rápida e economicamente o VO₂max em adultos não treinados. Segundo idade, sexo, condição física e patologias se recomendam diferentes provas de campo.

Palavras-chave: aptidão física, resistência aeróbica, prova aeróbica, VO₂max, consumo máximo de oxigênio, Rockport test, Harvard step test, Léger test, Queen's college step test.

Introducción

El sedentarismo y la obesidad están en aumento y son dos de los problemas que aquejan a la población actual (1-4). De ahí, la gran importancia de la actividad física para la promoción de la salud y la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Altos niveles de actividad física y *fitness* cardiorrespiratorio están inversamente relacionados con enfermedad cardíaca, infarto, diabetes tipo 2, hipertensión y ciertos tipos de cáncer, donde la resistencia cardiorrespiratoria es el componente más importante del *fitness* salud (1, 3-9). Por ello conviene implementar pruebas de campo válidas para su evaluación, con miras a prescribir y controlar programas de ejercicio, establecer diagnósticos diferenciales para tratamientos en salud, pero que no impliquen los elevados costos y dificultades de acceso característicos de las ergoespiometrías, cuya evaluación se realiza de forma individual, con profesionales especialistas entrenados en estas técnicas y equipos sofisticados y calibrados (10, 11).

En 1920, en el *Harvard Fatigue Laboratory*, se habían percatado de las dificultades de evaluar la resistencia cardiorrespiratoria por medio de pruebas de laboratorio (12-14). Varios autores coinciden en mencionar dichas dificultades (4, 15, 16). La medición directa del consumo máximo de oxígeno (VO₂max) es considerada como el procedimiento más exacto para evaluar la capacidad aeróbica individual (5, 15, 17, 18). Sin embargo, es costosa, demanda mucho tiempo, requiere una alta motivación de los sujetos y no se presta por sí misma para evaluar a un gran número de personas, lo que condujo a proponer otros métodos más económicos, que permitieran evaluar a un número de personas en poco tiempo (1, 19-21).

La evaluación de la condición física para la salud (*fitness*-salud, que involucra el VO₂max) es fundamental para planear de forma sistemática

programas de ejercicio que atiendan necesidades individuales (22). La evaluación previa es muy importante para la prescripción del ejercicio, pero quien prescribe debe escoger dentro de numerosas pruebas la más adecuada para la persona según su edad, sexo y condición individual (16, 23).

En 1971 fue elaborado un protocolo de evaluación de la capacidad cardiorrespiratoria en laboratorio, para diagnosticar enfermedad coronaria, y en 1973 se elaboró un nomograma para predecir el VO₂max (24, 25). Posteriormente, se introdujo una modificación para hacerlo más accesible a pacientes de condición física limitada. Esta prueba, y otras diseñadas para laboratorio, tienen los inconvenientes anotados anteriormente, por lo cual se han ideado pruebas de campo que permitan, a menores costos, evaluar grupos más numerosos de personas en menor tiempo y con menos personal altamente calificado (20, 26).

Por lo anterior, es necesario establecer la calidad científica de las pruebas de campo utilizadas para calcular el VO₂max en adultos sanos no entrenados, a fin de recomendarles para su uso en programas de salud.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica acumulada entre 1943 y 2013 para el cálculo del VO₂max por medio de pruebas de campo, con el propósito de sintetizar los resultados y establecer las que mejor se correlacionan con las mediciones directas (ergoespiometría en laboratorio), en adultos sanos, no entrenados, de ambos sexos (27).

La búsqueda utilizó las palabras clave aptitud física, evaluación de la condición, resistencia aeróbica, prueba aeróbica, VO₂max, consumo máximo de oxígeno, *Rockport test*, *Harvard step test*, *Léger test* (20m-SRT - 20 meter shuttle run test), en español, portugués e inglés en cada una de las bases de datos

mencionadas. La existencia de estos términos fue verificada en el *DeCS* y *MeSH*.

Se siguieron las recomendaciones del *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* 4.2.6., así como las ayudas del *Review Manager* (28, 29). Para analizar los estudios originales, se correlacionan los resultados de pruebas de campo con la medición del VO₂max (ergoespirometría). Los gráficos se elaboraron en el programa *Minitab* 15.2 y *Excel* 2010.

Los criterios de inclusión establecidos fueron estudios en inglés, portugués o español, publicados entre 1943 y 2013 sobre validación de pruebas diagnósticas referidas a adultos sanos entre 18 y 64 años de edad, rango encontrado en los límites de búsqueda en *PubMed*.

Se establecieron dos criterios de exclusión: no presentar pruebas de campo y ecuaciones de regresión para calcular el VO₂max, o estar referidos a deportistas o personas enfermas.

Se siguió el procedimiento establecido en la *American Academy for Cerebral Palsy and Development Medicine* (AACPDM System) (revisión 1.2) versión 2008 (AACPDM) así: (a) Se aseguró que no existiera un estudio idéntico en curso (comunicación con el Centro Cochrane en Brasil); (b) Se definió la población de interés con precisión (adultos sanos no entrenados entre 18 y 64 años); (c) Se determinaron las clases de publicaciones específicas (artículos en revistas científicas sobre la evaluación de la resistencia cardiorrespiratoria como parte del *fitness* salud a través de pruebas de campo); (d) Se identificaron las palabras clave en el *MeSH* (*PubMed*) o *DeCS* (Biblioteca Virtual en Salud); (e) Se establecieron los criterios de inclusión y exclusión para la búsqueda; (f) Se creó, ejecutó y guardó la estrategia de búsqueda. Fue revisada toda la literatura publicada en inglés, portugués y español en las bases de datos correspondientes a la naturaleza del campo: *MedLine*, *PubMed*, *ProQuest*, *Ovid*, *Hinari*, *Ebsco* y *BVS*. Solo estudios originales publicados en revistas

científicas fueron incluidos; (g) Se extractó la información de cada estudio incluido; (h) Se estableció el nivel de evidencia científica del artículo; (i) Se evaluó la calidad del estudio y fue asignado un rango de calidad; (j) Se identificaron los hallazgos de interés y las medidas usadas para ello; (k) Se utilizaron los datos extraídos para crear tablas de evidencia.

Los estadígrafos utilizados para establecer la calidad científica de las pruebas de campo fueron (a) El coeficiente de correlación (producto r de Pearson), entre el VO₂max calculado por medio de la prueba de campo y el medido en la ergoespirometría y (b) el error estándar estimado (SEE).

Los artículos seleccionados fueron analizados con la herramienta *QAREL* (*a Quality Appraisal Tool For Studies Of Diagnostic Reliability*), para evaluar su calidad, la cual permite evaluar los artículos primarios para la preparación de las revisiones sistemáticas (30).

Se controlaron las fuentes de sesgo que se detallan a continuación, para establecer la calidad de los estudios:

- Tamaño de la muestra: para establecer el poder de inferencia hacia la población en general.
- Aleatoriedad: orden en el cual los sujetos realizaban las pruebas de laboratorio y campo.
- Cegamiento para las mediciones: el evaluador en laboratorio no debería saber el resultado en la prueba de campo.
- Análisis de subgrupos: por sexo y edad, las variables aparentemente más determinantes del VO₂max.
- Suposición de relación lineal: se partió del supuesto que la relación entre el aumento del VO₂max y el de la prueba de campo era lineal.
- Ecuaciones: diferentes ecuaciones con los mismos sujetos predicen diferentes valores del VO₂max.

Resultados

La figura 1 muestra cómo se seleccionaron los artículos a los que se les realizó el correspondiente análisis mediante la herramienta QAREL.

Las pruebas de campo de resistencia aeróbica para las cuales se encontraron estudios que cumplieran las características exigidas por la presente revisión sistemática y que fueron aprobados por el

grupo de trabajo en cuanto a metodología y diseño fueron el *Test* de carrera de la Universidad de Montreal (UMTT), Prueba de escalón del *Queen's College* (QCST), Prueba de *Rockport Fitness Walking Test* (RFWT), Prueba de 1,5 millas (1,5 M), Prueba Aeróbica de 1000 metros (1000 m.), *20 meter shuttle run test* (20m-SRT) y *20 m. Square Shuttle Test* (SST).

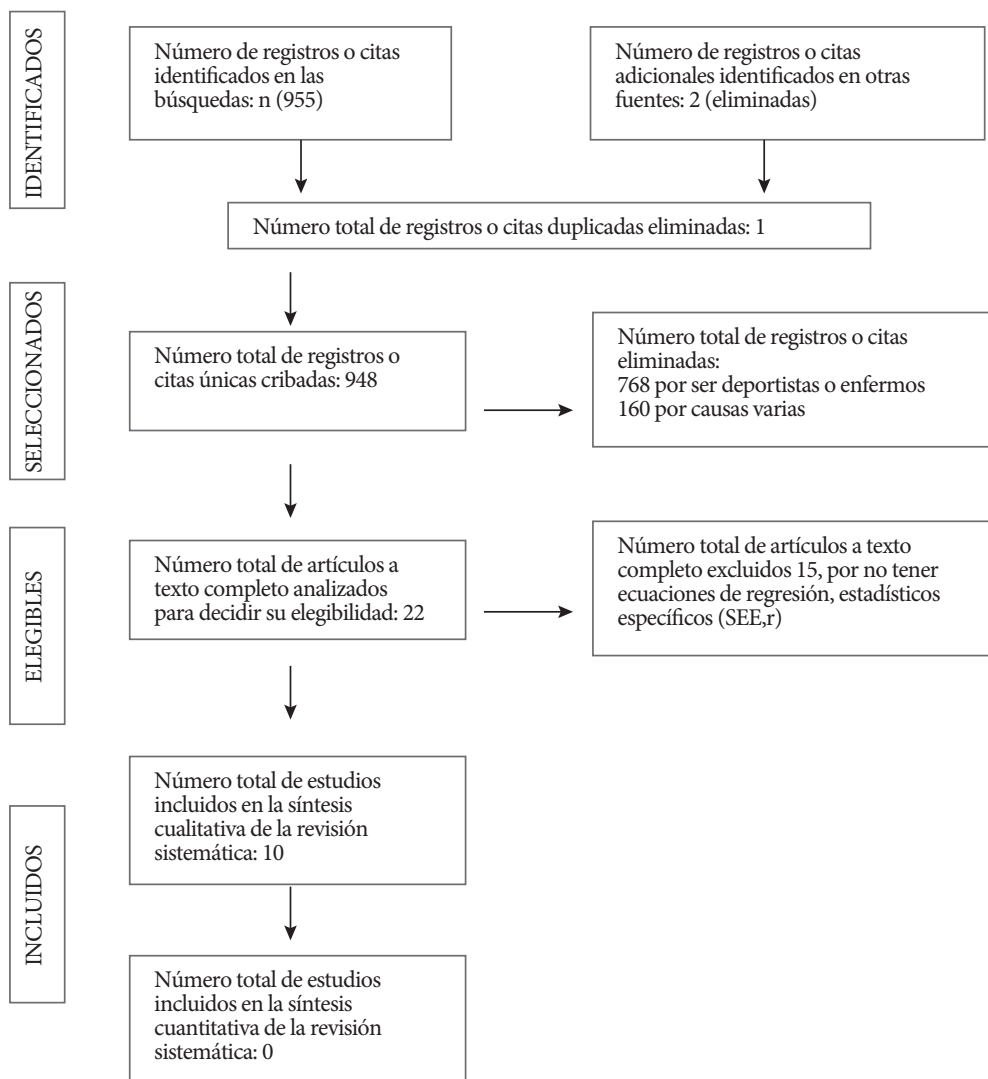


Figura 1. Diagrama de Flujo de la información

Fuente: tomado de la Declaración Prisma 2010.

La diferencia en los valores de correlación para una misma prueba de campo con la ergoespirometría se atribuyeron al efecto de variables representativas para la predicción del VO₂max (edad y sexo), tamaño de la muestra, aleatoriedad y error propio de la medida, siendo la última categoría determinada cuando se hubiesen descartado las primeras tres. Este procedimiento debió realizarse para las pruebas de QCST y rFWT; las diferencias encontradas en los valores de correlación para QCST fueron atribuidas a la variable sexo y las diferencias encontradas en los valores de correlación para rFWT fueron atribuidas a la edad.

Análisis de cada una de las pruebas

UMTT: en 1980 fue publicado el *Test* de Carrera de la Universidad de Montreal, que empezaba con una intensidad de 5 Mets, con incrementos de 1 m cada dos minutos (31). Fueron evaluados 25 sujetos con edad media de $24,4 \pm 2,8$ años a quienes se les predijo su VO₂max con el UMTT y medido directamente con el *test* en banda. Los promedios no difirieron significativamente $61,5 \pm 10,6$ y $61,4 \pm 10,9$ ml*kg⁻¹*min⁻¹ respectivamente, con una $r = 0,96$ y SEE = 2,81 la confiabilidad analizada sobre 60 sujetos dio una $r = 0,97$ con SEE = 1,92.

Posteriormente, emplearon el UMTT para evaluar el costo total de la carrera en pista, incluyendo el gasto correspondiente a la resistencia del viento, el cual para velocidades hasta 15 km/h resultó insignificante, pasando hasta $6,2$ ml*kg⁻¹*min⁻¹ a 25 km/h, velocidad que no es alcanzada en carreras de resistencia mayores a 5 km (32). Combinando diferentes ecuaciones de regresión de pruebas conocidas hasta la fecha, plantearon el costo total tanto para pruebas en banda como en pista, encontrando que para velocidades entre 8 km/h y 25 km/h, una ecuación lineal simple puede describir exactamente el costo total de la carrera en pista.

rFWT (Kline): en 1987 se realizó un trabajo que buscaba validar el *test* de rFWT como herramienta de predicción del VO₂max, con una muestra de 343 personas entre 30 y 69 años de ambos sexos, estos investigadores encontraron una correlación lineal entre estas dos variables con una $r = 0,93$ y un SEE = 0,355 (21).

20m-SRT: en 1988 publicaron el *test* multiestaciones de carrera de ida y vuelta, para adultos sanos participantes en actividades de *fitness* y deportistas de modalidades con frecuentes arrancadas y detenciones; la prueba consiste en una carrera de ida y vuelta sobre un terreno prefabricado de 20 m, con una velocidad inicial de 8,5 km/h con incrementos de 0,5 km/h cada minuto, hasta cuando el evaluado no es capaz de sostener la velocidad indicada. Fueron evaluados 81 hombres y mujeres entre 20 y 45 años (33). El coeficiente de fiabilidad *test-retest* fue de $r = 0,95$ con un SEE = 4,7. La misma ecuación puede ser utilizada para hombres y mujeres entre 18-50 años con $r = 0,90$, $n = 77$.

RWFT (Dolgener): en 1994 se realizó un trabajo para validar el rWFT en personas jóvenes de $19,4 \pm 2,4$ años, con un diseño de distribución aleatoria, una confianza del 95 % y un error del 5 % (14). Se encontró una correlación lineal directa entre VO₂max directo y la medición de campo de $r = 0,69$ y un SEE = 5,5, lo cual refleja una relación menos fuerte que la encontrada en el trabajo de 1987, posiblemente atribuible a la edad de las personas analizadas, como plantearon los autores (21). En este trabajo el SEE alto disminuyó al ser corregido por peso y por género. En conclusión, existe una correlación lineal directa entre el VO₂max y las mediciones estimadas con el *test* de rWFT. Se recomienda para hombres y mujeres mayores (22).

1,000m: en el 2000, un trabajo con 51 adultos con edad de $33,9 \pm 16,2$ años encontró una

correlación lineal entre la prueba de campo 1000 m y el VO2max con una $r = 0,86$ y un SEE = 0,8 (5). Se recomienda para mujeres jóvenes.

1,5 M: en el 2002, se analizó la validez, fiabilidad y discriminación de la prueba de 1,5 m para determinar el VO2max, por medio de coeficiente de correlación (1). Se obtuvieron como resultados principales los siguientes valores sin ajuste de frecuencia cardiaca: (considerando sexo) $r = 0,86$. SEE = 3,37. Con ajuste de frecuencia cardiaca: (considerando sexo)

$r = 0,9$. SEE = 2,87 (figura 2). Se recomienda para personas entre 18 y 26 años (universitarios).

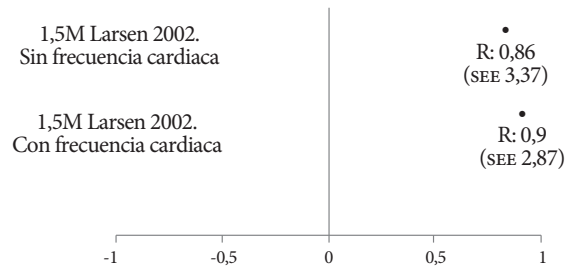


Figura 2. Correlación prueba de 1,5 m y VO2max.

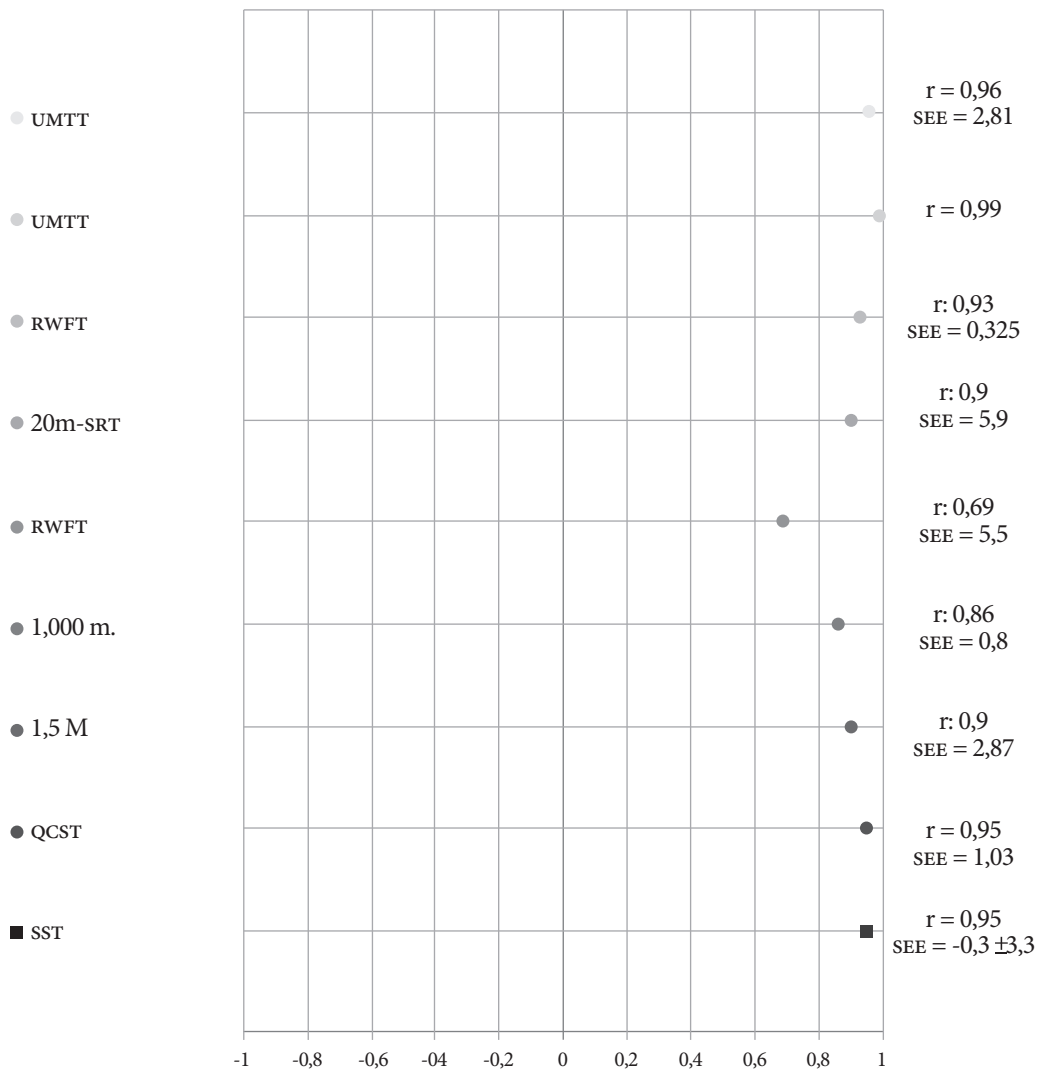


Figura 3. Correlación entre las pruebas de campo y la ergoespirometría hombres y ambos sexos

QCST: en el año 2004 fue realizado un estudio de validez de la prueba QCST entre jóvenes del sexo masculino con edad de $22,6 \pm 0,2$ años (15). Al usar los coeficientes de correlación de Pearson encontraron una $r = 0,95$ y un $SEE = 1,0$ al comparar la prueba de QCST y la medición directa del VO_{2max} . En conclusión, existe una correlación directa entre la medida de VO_{2max} derivada de la prueba de campo QCST y la medida directa en laboratorio, en adultos jóvenes. Se recomienda para hombres jóvenes. Del mismo estudio se publicó en el 2005 un artículo de las mismas características para mujeres con una $r=0,95$ y un $SEE=0,344$ (34).

SST: en el 2004 propusieron un *test* de carrera de velocidad progresiva que eliminara el giro de 180° del 20m-SRT, por su incomodidad, especialmente a las velocidades mayores y en personas altas o pesadas (35). Propusieron correr alrededor de un cuadrado de 20 m de lado, utilizando la misma pista sonora del 20m-SRT (36). Para la validación, evaluaron a 74 hombres con edad 21.6 ± 2 años, sanos y no fumadores, deportistas recreativos no entrenados específicamente. La validación dio un resultado de $r = 0,95$, con un $SEE = 3.3$ ml/kg/min.

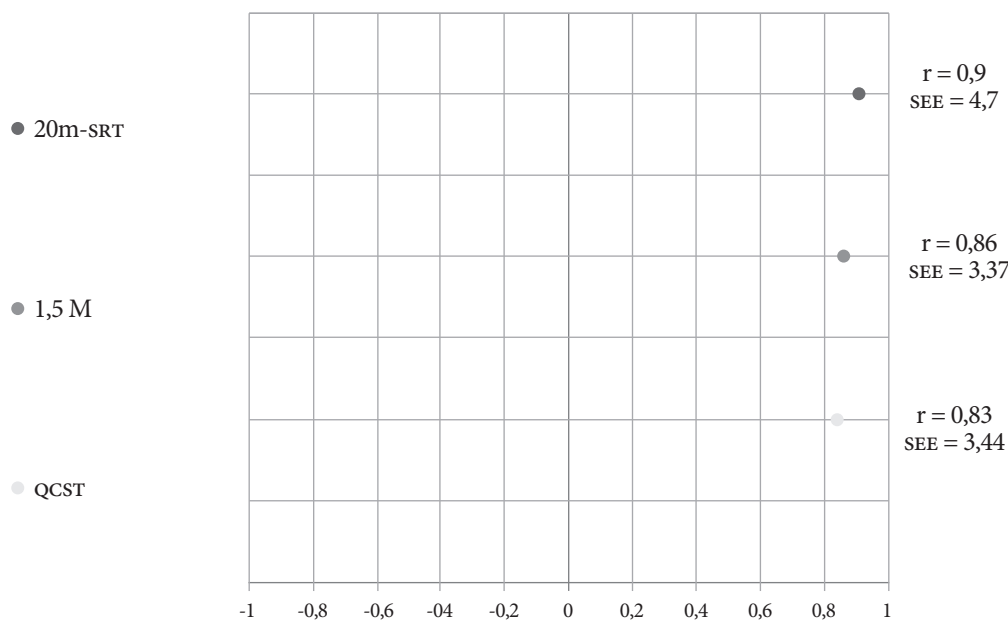


Figura 4. Correlación entre las pruebas de campo y la ergoespirometría mujeres

Tabla 1. Resumen de las características y estadísticos más importantes de las diferentes pruebas analizadas.

Test	Autor Año	Sexo	Edad	n	r	SEE (l * min ⁻¹ ml * kg ⁻¹ * min ⁻¹)	Equipo medición directa	Protocolo espirometría	Ecuación predictiva (y=VO2max.)
UMTT	Leger y Boucher 1980	Ambos sexos	adultos	25	0,96	2,81	Banda	Balke modificado	$y = 0,0324 \times V^2 + 2,141 \times V + 14,49$ $y = 3,5 \times X$ X= velocidad máxima alcanzada
UMTT	Leger y Mercier 1984	Ambos sexos	adultos	130	0,99		Banda	NA	
RWFT	Kline et al. 1987	Masc.	30 a 69	165	0,93	0,325	Banda sin fin Sensor medics Horizon	Vel. Auto-seleccionada, incrementos pendiente 2,5% c/2 min.	$y = 6,9652 + (0,0091 \times \text{peso}) - (0,0257 \times \text{edad}) + (0,5955 \times \text{sexo}) - (0,2240 \times \text{tiempo}) - (0,0115 \times \text{FC})$
		Fem.		178					
20m-SRT	Leger, Mercier, Gadoury & Lambert 1988	Masc.	8 a 18	188	0,9	5,9	Bolsa de Douglas. Analizadores Beckman OM-11 y LB-1	NA	$y = 31,025 + 3,238 \times V$ (km/h) $- 3,248 \times \text{Edad} + 0,1536 \times V \times \text{Edad}$ $y = -24,4 + 5,8 \times V$
		Fem.		adultos	145	0,9	4,7		
RWFT	Dolgener, Hensley, Marsh Fjelstul 1994	Masc.	19,4±2,5	129	0,69	5,5	Banda sin fin VO2 medido con Beckman Metabolic Cart	Vel. Ini. 6 mph 0% pendiente; increm. 2.5% c/ min	$y = 3,5959 + 0,6566 \times (\text{sexo}) + 0,0096 \times (\text{peso}) + 0,0996 \times (\text{tiempo}) - 0,0080 \times (\text{FC})$
		Fem.		adultos	145	0,86	0,8		
1,000 m.	Díaz et al. 2000	Masc.	32,6±10,5	31	0,86	0,8	Banda sin fin, Trackmaster Research, Mod. 48, Sensor medics 2900	Vel. Ini según condición (90, 140 o 150 /min), incremento pendiente 1 % c/min	$y = 71,662 - 5,850 \times (\text{tiempo})$
1,5 M	Larsen et al. 2002	Fem.	333,9±16,2	20	0,9	2,87	Ventilation measurement module (Alpha Technologies)	GTX (George 1996)	$y = 100,162 + 7,301 \times \text{Sexo} - 0,164 \times P$ (kg) - 1,273 xt - 0,156 x FC $y = 65,404 + 7,707 \times \text{Sexo}$ (1=Masc, 0=fem) - 0,159 x P(kg) - 0,843 xt (min)
		Ambos sexos	18 a 26	99	0,86	3,37			
QCST	Chatteerjee, Chateterjee & Bandyopadhyay 2005	Masc.	22,6±0,2	30	0,95	1,03	Scholander micro gas analyzer, bolsa de douglas. Bicidleta freno magnético Muller	73,55w. 5 min, 155,28w e incrementos de 24,52w c/3 min.	$y = 111,33 - (0,42 \times \text{Fc})$ $55,23 - (0,09 \times \text{Fc})$
		Fem.	21,9 3,2	40	0,83	0,344		50w. 5 min, 150w e incrementos de 20w c/3 min.	$y = 65,81 - (0,1847 \times \text{Fc})$
SST	Metsios, Flouris, Koutedakis & Nevill 2008	Masc.	21,6±2	74	0,95	-0,3±3,3	Sensor Medics	Protocolo Bruce modificado en banda. Vel. Inicio 9 km/h, incr. 1 km/h c/2 min	$y = V \times 3,679 - 7,185$

Discusión

En esta revisión se incluyeron 10 artículos relativos a 7 pruebas de campo decantadas de una base inicial de 955 identificados en la red, los cuales, finalmente, cumplen con los criterios de calidad científica suficientes para hacerlas recomendables en la predicción del VO₂max en personas sanas no entrenadas entre 18 y 64 años de edad, con el propósito de prescribir el ejercicio de resistencia con diferentes fines sanitarios, de condición física o deportivos recreativos, y controlar los efectos de dichas actividades sobre la capacidad funcional del organismo (2-4).

Los coeficientes de correlación entre el VO₂max medido (ergoespirometría en laboratorio) y el calculado a través de las pruebas de campo mediante las ecuaciones de regresión propuestas estuvieron entre $r = 0,69$ y $0,99$, lo cual los válida para los propósitos enunciados. El SEE, considerado como un indicador del grado de precisión con que la ecuación de regresión describe la relación entre las dos variables, osciló entre 0,36 y 5,5. En ese orden de ideas, la prueba con la mayor "r" de Pearson y el menor SEE fue la RWFT de Kline.

Importancia del VO₂max para la salud: el VO₂max es un parámetro fisiológico para determinar la cantidad de oxígeno que utiliza el organismo para mantener funciones vitales constantes y se define como la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo, se expresa en L*min⁻¹ el absoluto o ml*kg⁻¹*min⁻¹ el relativo al peso (5, 13, 18). También se lo define como el "proceso celular de utilización de oxígeno para producir la energía necesaria para realizar un esfuerzo" (37). Comparando algunos autores, se encuentra que no hay unificación de criterios dado que uno define VO₂max para el mantenimiento del metabolismo basal y el otro habla de consumo de oxígeno para realizar esfuerzos. El

oxígeno que consume una persona en situación de reposo es de 3,5 ml*kg⁻¹*min⁻¹ y equivale a un MET (unidad metabólica).

Existe una relación lineal entre el VO₂ y la carga de trabajo: a mayor intensidad del trabajo mayor consumo de oxígeno (37). Esta relación se pierde una vez se supera el umbral anaeróbico-aeróbico, lo que quiere decir aumento de concentración de lactato sanguíneo superior a 4 mmol/L. El VO₂max está determinado por factores como edad, sexo, peso, factores químicos (hemoglobina, hormonales) y su medición se cuantifica de manera directa (prueba de gases, protocolos de Bruce, Balke, Astrand, Margaria, Shepard, entre otros) o indirecta mediante pruebas de campo de caminar, correr, subir a un banco o pedalear (14). Si el sujeto escoge un *test* que se realice caminando o corriendo, lo recomendado es que sea incremental, es decir, que la dificultad aumente a lo largo de la prueba, pues de lo contrario pueden perder validez debido a que el evaluado puede iniciar muy rápido por desconocimiento de sus capacidades frente a la prueba, o terminar muy despacio por fatiga.

La evaluación del VO₂max: "La medición del VO₂max en humanos es un procedimiento que requiere de analizadores de gases, ergómetros y laboratorios de fisiología no ampliamente disponibles en el medio colombiano (5, 13). La determinación de estas variables es importante para valorar el riesgo cardiovascular", capacidad funcional rendimiento atlético y prescripción y orientación de ejercicio físico (35, 38).

Revisión sistemática de la literatura: un número considerable de pruebas se ha propuesto para obtener indirectamente el VO₂max. En estas pruebas la estimación del VO₂max resulta de la relación tiempo-distancia, velocidad, carga de trabajo o respuesta de la frecuencia cardíaca (39). En este trabajo se evaluaron pruebas sencillas, como la de caminar 1000 m, adaptada a las condiciones de los adultos mexicanos, muchos de ellos aquejados

de sobrepeso y sedentarismo, para quienes las pruebas de correr o subir un banco son demasiado exigentes.

Queda establecida y evaluada una gama de pruebas con una aceptable capacidad predictiva del VO₂max, utilizables en poblaciones sanas adultas no entrenadas, con un amplio rango de edades (18 a 64 años) y de niveles de condición física, lo cual permite a los profesionales de la salud o de la actividad física evaluar el parámetro funcional más importante para estimar la condición física de los usuarios o pacientes (40).

La calidad científica de las pruebas de campo para la evaluación del VO₂max: de la amplia gama de pruebas de campo diseñadas para evaluar indirectamente el VO₂max, es necesario seleccionar las que mejor cumplen con los criterios científicos de validez, fiabilidad, calidad y procedan de la evaluación de sujetos lo más parecidos a los que se pretende evaluar para poder ser usados como predictores (41, 42). Por ejemplo, al aplicar las ecuaciones del RWFT de Kline (21) a mayores de 70 años, quienes gastaban más de 20 min. en la prueba, se encontró que se subestimaba el VO₂max (21, 41, 43). Por el contrario, al aplicarla a universitarios sedentarios se encontraron valores correspondientes a deportistas entrenados. Estos dos errores en la estimación del VO₂max se debieron a que en realidad el estudio original se aplicó a sujetos entre 30 y 69 años, por lo que no resultaba recomendable aplicarla a sujetos por fuera de ese rango etario.

La literatura destaca pruebas ampliamente utilizadas en el medio, como el 20m-SRT, consistente en correr de ida y vuelta sobre 20 m, a velocidad progresiva que comienza con 8,5 km/h y aumenta en 0,5 km/h cada minuto (19, 44). Esta prueba, sin embargo, no tiene mucha aplicabilidad a quienes no estén acostumbrados a frenar y regresar rápidamente, o a sujetos con exceso de peso y poca agilidad. Esta revisión permitió descartar pruebas como esta, pues

su estudio original no presentó los estadísticos necesarios para ser considerada. Posteriormente, se diseñó la prueba SST que resuelve el problema mencionado. La reproducibilidad de las pruebas de campo comparadas contra la ergoespirometría con analizador de gases tiene alrededor de un 3 % de error, valor aceptable que coincide con el análisis del trabajo donde la correlación estuvo entre $r = 0,93$ y $r = 0,96$ (14, 35, 45, 46).

La aplicabilidad de las pruebas de campo en el área de la salud: la medición directa del VO₂max es la más precisa para evaluar la capacidad aeróbica individual, pero requiere equipos sofisticados, técnicos de laboratorio y alta motivación y no permite evaluar una gran cantidad de sujetos simultáneamente (47-49). Actualmente, se encuentra gran variedad de ergómetros para aplicar, según el ejercicio o deporte que practique, condición física edad y sexo; aunque estos aspectos deben tenerse en cuenta al momento de elegir el más adecuado, también deben considerarse aspectos como involucrar al menos el 66 % de la musculatura (resistencia global) para una mejor predicción del VO₂max, ya que una musculatura menor a este porcentaje limita el pico máximo por aparición de la fatiga localizada (13, 50). Otros aspectos para analizar al elegir la mejor prueba es la fuerza en la musculatura del cuádriceps, si se elige el cicloergómetro, o la banda sinfín, la cual requiere de equilibrio para mantenerse estable y coordinación para la ejecución de los test de banco, razón por la cual se considera que la mejor actividad para aplicar a personas sanas no deportistas es caminando, ya que es seguro, no requiere de aprendizajes de habilidades previas y no requiere de condición física elevada (13).

Conclusiones

Considerando la gran disparidad de las personas en su condición física, incluyendo rango etario y diferencias en función del sexo, podría afirmarse que no hay una prueba de campo que

sea igualmente útil en todos los casos. Debe, por tanto, seleccionarse la prueba que mejor corresponda a la condición del sujeto evaluado (48, 34), en función de actividad, sexo, edad, peso corporal y patologías cardiorrespiratorias, musculares y articulares.

En la práctica clínica, para evaluar el VO₂max en hombres jóvenes se recomienda utilizar el QCST, preferiblemente.

Para evaluar mujeres jóvenes se recomienda utilizar el *test* de 1000m.

Para evaluar hombres y mujeres mayores, es preferible utilizar el RWFT, se recomienda realizarlo a paso rápido, pues los tiempos por encima de 20 minutos subvaloran el VO₂max, arrojando valores cercanos a los de reposo (51).

Para personas con problemas articulares, especialmente de rodilla o con exceso de peso, no se recomiendan los *tests* de escalón (QCST, *Harvard Step Test* y similares), es preferible el RWFT.

Los *test* de campo funcionan mejor calculando el VO₂max en hombres.

Los mejores estudios, metodológicamente hablando, son los de RWFT y el de 1,5M.

Usar RWFT y QCST parece ser similar, sin embargo, se necesitan más estudios para concluir esto con un buen nivel de confianza.

Las pruebas de campo analizadas se correlacionan bien con la ergoespirometría, en su orden: el QCST, STT y 1000m para hombres alcanzaron una $r = 0,95$; el RWFT para hombres $r = 0,93$; 1000m para mujeres $r = 0,86$; 1,5M $r = 0,86$; QCST para mujeres $r = 0,83$ y RWFT para mujeres $r = 0,74$, para adultos UMTT $r = 0,96$ y 20m-SRT $r = 0,9$

La jerarquía metodológica de los estudios analizados fue 1° RWFT (Kline, 1987); 2° RWFT (Dolgener, 1994); 3° 1,5M (Larsen, 2002); 4° 20m-SRT (Leger, 1988); 5° 1,000m. (Díaz, 2000); 6° QCST para hombres (Chatterjee, 2004); 7° Las pruebas de 1,5M y QCST son solamente válidas para personas jóvenes.

Por último, se recomienda realizar una investigación para calcular todos los *test* elegidos en una misma población, y comparar los resultados predictivos con análisis de gases, ya que los *test* fueron creados en diferentes momentos, con poblaciones y tecnologías diferentes.

Referencias

1. Larsen GE, George JD, Alexander JL, Fellingham GW, Aldana SG, Parcell AC. Prediction of Maximum Oxygen Consumption From Walking, Jogging, or Running. *Res Q Exerc Sport* 2002; 1(73):66-72.
2. Mahecha S, Matsudo V, Araújo T, Andrade E, Oliveira L, et al. Nivel de atividade física da população do Estado de São Paulo: análise de acordo com o gênero, idade, nível socioeconômico, distribuição geográfica e de conhecimento. *Rev. Bras. Ciên. e Mov. Brasília* 2002;10(4):41-50.
3. ACSM. American College of Sports Medicine. Health related physical fitness assessment manual. 2.ª ed. Baltimore: Wolters Kluwer; 2008.
4. ACSM. American College of Sports Medicine. Manual ACSM para la Valoración y Prescripción del Ejercicio. 2.ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2007.
5. Díaz FJ, Montaña JG, Melchor MT, Guerrero JH, Tovar JA. Validación y Confiabilidad de la Prueba Aeróbica de 1000 metros. *Rev Invest Clin* 2000; 1(52):44-51.
6. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia. Bogotá: ENSIN; 2010.
7. D'Alonzo KT, Marbach K, Vincent L. A Comparison of Field Methods to Assess Cardiorespiratory Fitness Among Neophyte Exercisers. *Biol Res Nurs* 2006;8:7-14.
8. Estrada YC. Revisión Sistemática sobre las baterías de evaluación usadas en el examen de la condición física. *Rev. Colomb. Rehabil* 2010;9:62-71.

9. Cooper KH. A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake: Correlations Between Field and Treadmill Testing. *Jama*. 1968;203:201-4.
10. Da Matta LG, Pacheco ME, Grubert CS, Baldissera V, Gustavo HG. Comparação entre protocolos diretos e indiretos de avaliação da aptidão aeróbia em indivíduos fisicamente ativos. *Rev Bras Med Esporte* 2005;4(11):219-25.
11. Heyward V. Evaluación y Prescripción del Ejercicio 2.^a ed. Barcelona: Paidotribo; 2001.
12. Sousa MSC de, Pellegrinotti IL, Pessoa J. Validação de protocolo e instrumento banco na ergometria / Validation of protocol and step instrument in ergometry. *Rev Bras Ciênc Saúde* 2003;7(3):265-82.
13. López J, Fernández A. Fisiología del ejercicio. 3.^a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2010.
14. Dolgener F, Hensley L, Marsh J, Fjelstul JK. Validation of the Rockport Fitness Walking Test in College Males and Females. *Res Q Exerc Sport* 1994;65(2):152-8.
15. Chatterjee S, Chatterjee P, Mukherjee PS, Bandyopadhyay A. Validity of Queen's College Step Test for use with young Indian men. *Br. J. Sports. Med* 2004;38:289-91.
16. Heyward V. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. 5.^a ed. Champaign IL: Human Kinetics; 2006.
17. ACSM, ACSM's Guidelines for Exercise Testing and prescription. 8.^a ed. Georgia: Wolters Kluwer; 2009.
18. Sherry E, Wilson SF. Manual Oxford de Medicina Deportiva 1.^a ed. Barcelona: Paidotribo; 2009
19. García GC, Secchi JD. Relación de las velocidades finales alcanzadas entre el *Course Navette* de 20 metros y el test de VAM-EVAL. Una propuesta para predecir la velocidad aeróbica máxima. *Apunts Med Esport* 2013;48(177):27-34.
20. James D, George A, Fisher G. Pruebas y Pruebas Físicas. 4.^a ed. Barcelona: Paidotribo; 2005.
21. Kline GM, Porcari JP, Hintermeister R, Freedson PS, Ward A, McCarron RF, et al. Estimation of VO₂max. From a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1987;19(3):253-9.
22. George JD, Fellingham GW, Fisher G. A modified version of the rockport fitness walking test for college men and women. *Res Q Exerc Sport* 1988;69(2):205-9.
23. Anshel MH, Scott SJ. Self-Monitoring and Selected Measures of Aerobic and Strength Fitness and Short-term Exercise Attendance. *J Sport Behav*; 2009;32(2):125-30.
24. Bruce RA. Exercise Testing of Patients with Coronary Heart Disease: principles and normal standards of evaluation. *Am. Clin. Res* 1971;3:323-32.
25. Kusumi F, Bruce RA, Hosmer D. Maximal Oxygen Intake and Nomographic Assessment of Functional Aerobic Impairment in Cardiovascular Disease. *Am. Heart J*. 1973;1(85):546-62.
26. Alves J, Campbell CS, Pardono E, Da Costa R, Magalhães G, Simões HG. Validade de Equações de Predição em Estimar o VO₂max de Brasileiros Jovens a Partir do Desempenho em Corrida de 1.600m. *Rev Bras Med Esporte* 2010; 16(1):57-60.
27. Martínez J. Pruebas de Aptitud Física. Barcelona. 2.^aed. Paidotribo 2002.
28. Reitsma JB, Rutjes AWS, Whiting P, Vlassov VV, Leeflang MMG, Deeks JJ. Chapter 9: Assessing methodological quality. En: Deeks JJ, Bossuyt PM, Gatsonis C (eds.), *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Diagnostic Test Accuracy Version 1.0.0*. The Cochrane Collaboration; 2009 [citado 8 enero 2015]. disponible en: <http://srdta.cochrane.org/>
29. Review Manager (RevMan) [Computer program]. Version 5.1. Copenhagen: The Nordic Cochrane Centre, the Cochrane Collaboration; 2011.
30. Lucasa NP, Macaskillb P, Irwigb L, Bogduk N. The Development of a Quality Appraisal Tool for Studies of Diagnostic Reliability (QAREL). *J Clin Epidemiol*. 2010;63:854:61.

31. Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal Track Test. *Can. J. Appl. Sport. Sci.* 1980;5(2):77-84.
32. Leger L, Mercier D. Gross Energy Cost of Horizontal Treadmill and Track Running. *Sports Med* 1984;1:270-7.
33. Léger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Jr Sports Sci* 1988;6:93-101.
34. Chatterjee S, Chatterjee P, Bandyopadhyay AA. Validity of Queen's College Step Test for estimation of maximum oxygen uptake in female students. *Indian J Med Res* 2005;121:32-35.
35. Metsios GS, Flouris AD, Koutekadis Y, Nevill A. Criterion-related validity and test-retest reliability of the 20 m Square Shuttle-Test. *J of Sci and Med in Sport.* 2008;11:214-7.
36. Green MS, Esco MR, Martin TD, Pritchett RC, McNugh AN, Williford HN. Crossvalidation of Two 20-M Shuttle-Run Tests for Predicting VO₂max in Female Collegiate Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(6):1520-8.
37. Carey DG, Richardson MT. Can aerobic and anaerobic power be measured in a 60-second maximal test. *J Sports Sci Med* 2003;2:151-7.
38. Serrato M. *Medicina del Deporte.* Bogotá: Universidad del Rosario; 2008.
39. Calderón FJ. *Fisiología Humana. Aplicaciones a la Actividad física.* Madrid: Médica Panamericana; 2012.
40. Llaraza-Lomelli H. Prueba de ejercicio con análisis de gases espirados. *Arch Cardiol Mex* 2012;82(12):160-9.
41. Hoehner CHM, Soares J, Parra D, Ribeiro IC, Joshi CE, Pratt M, et al. Intervenciones en Actividad Física en América Latina. *RS. Am J Prev Med* 2008;34(3):224-33.
42. Malmberg JJ, Miilunpalo SI, Vuori IM, Pasanen ME, Oja P, Haapanen-Niemi NA. A health-related fitness and functional performance test battery for middle-aged and older adults: feasibility and health-related content validity. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83(5):666-77.
43. Moreira RA, De Souza R, Simão R, De Salles B, Machado B. Prediction of VO₂max during cycle ergometry based on submaximal ventilatory. *J Strength Cond Res* 2009;23(6):174-5.
44. Reilly T, Tipton M. A sub-maximal occupational aerobic fitness test alternative, when the use of heart rate is not appropriate. *Ottawa. Work* 2010;36 (3):333-7.
45. Tolosa-Guzmán I, Romero ZC, Mora MP. Predicción clínica del dolor lumbar inespecífico ocupacional. *Rev Cienc Salud* 2012;10(3):347-68.
46. Cooper SM, Baker JS, Tong RJ, Roberts E, Hanford M. The repeatability and criterion related validity of the 20m multistage fitness test as a predictor of maximal oxygen uptake in active young men. *Br J Sports Med* 2005;39:1-7.
47. Leger L, Lambert J, Mercier D. Predicted VO₂max. And Maximal Speed for a Multistage 20m. Shuttle Run In 7000 Quebec Children Aged 6-17. *Med. Sci. Sports. Exer* 1982;15:42-3.
48. Benito PJ, Calderón FJ, García A, Peinado AB. Validez, fiabilidad y reproducibilidad de un test incremental en rampa en personas físicamente activas. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte* 2005;1(1):46-63.
49. Castillo MJ. La condición física es un componente importante de la salud para los adultos de hoy y mañana. *Rev Esp Iberoam Med Edu Fis Dep* 2007;16(1):2-8.
50. Tibana RA, Barros E, Silva PA, Silva AS, Balsamo S, Oliveira AS. Comparação da frequência cardíaca máxima e estimada por diferentes equações. *Braz J Biomotricity* 2009; 3 (4):359-65.
51. Ferrero Ch. Comparación de Tests: Cooper y Rockport. *Rev. Int Med Cienc Act. Fís. Deporte* 2004;4(14):144-2.