

Análisis comparativo del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estimado mediante las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al y el American College of Sport Medicine en corredores de maratón

ROBINSON RAMÍREZ VÉLEZ^a, RICARDO ANTONIO AGREDO ZUÑIGA^b, JOSÉ GUILLERMO ORTEGA ÁVILA^c, VIVIANA ANDREA DOSMAN GONZÁLEZ^d y CARLOS ALEJANDRO LÓPEZ ALBAN^e

^aFisioterapeuta, Fundación Universitaria María Cano, Extensión Cali. Especialista en Rehabilitación Cardíaca y Pulmonar, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Bogotá. Doctorando en Ciencias Biomédicas, Universidad del Valle. Cali. Valle. Colombia.

^bFisioterapeuta, Fundación Universitaria María Cano, Extensión Cali. Investigador Independiente, Centro para la Investigación en Salud y Rendimiento Humano ZOE. Cali. Valle. Colombia.

^cBacteriólogo, Universidad del Valle. Doctorando en Ciencias Biomédicas, Universidad del Valle. Cali. Valle. Colombia.

^dEstudiante de Fisioterapia, Fundación Universitaria María Cano, Extensión Cali. Valle. Colombia.

^eMédico y cirujano, Universidad del Cauca. Especialista en Medicina del Deporte, Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil. Magíster en Salud Pública, Universidad del Valle. Aspirante a Magíster en Medicina Alternativa, Universidad Nacional de Colombia. Director del Centro para la Investigación en Salud y Rendimiento Humano ZOE. Cali. Valle. Colombia.

RESUMEN

Fundamento: Una reducida capacidad funcional, o $\text{VO}_{2\text{máx}}$, es considerada como factor de riesgo que ocasiona la muerte por múltiples causas, pero principalmente por enfermedad coronaria. Por lo anterior, y sumado a la dificultad que representa su evaluación, se han sugerido otras alternativas para considerarla, desarrollando ecuaciones de predicción, sin la necesidad de realizar ejercicio.

Objetivo: Analizar comparativamente las ecuaciones para la predicción del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante el test "Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption" (PAR/PAF), y la desarrollada por el American College Sport Medicine (ACSM) en corredores de maratón.

Mediciones principales: Variables sociodemográficas: edad (años), estado civil, estrato socioeconómico, nivel educativo y tipo de afiliación al sistema de Seguridad Social en Salud. Variables antropométricas: estatura (m), peso (kg), índice de masa corporal (IMC kg/m^2) y perímetro abdominal. Variable de capacidad funcional: ecuaciones de predicción, descritos por Jackson et al (PAR/PAF), y el ACSM.

Resultados: Se encontraron correlaciones entre el cálculo del ACSM y el cuestionario PAR/PAF en función al tiempo de llegada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,94$), (pNS, $r^2 = 0,00$), y en función de la edad (pNS, $r^2 = 0,00$), ($p < 0,001$, $r^2 = 0,87$), $n = 81$, respectivamente. Al diferenciarlos por grupos de edad, con el cálculo del ACSM y el PAR/PAF en mayores de 30 años, se encontró una importante correlación en función al tiempo de llegada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,95$), (pNS, $r^2 = 0,09$), respectivamente. Resultados contrarios en función de la edad, ACSM (pNS, $r^2 = 0,03$), PAR/PAF ($p < 0,001$, $r^2 = 0,78$). En menores de 30 años, comparados los métodos con el tiempo de llegada, el cálculo del ACSM demostró una alta correlación ($p < 0,001$, $r^2 = 0,97$), contraria al cálculo del PAR/PAF (pNS, $r^2 = 0,03$). Al comparar ambos métodos y su relación con la edad, no se encontraron correlaciones significativas ($r^2 = 0,22$) y ($r^2 = 0,05$). La correlación entre ambos métodos para estimar de manera indirecta el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en corredores de media maratón sólo fue encontrada en el grupo de mayores de 30 años ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$.

Conclusiones: Los modelos de predicción del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ pueden constituirse en una alternativa viable para la evaluación de la capacidad funcional en estudios epidemiológicos. A pesar de esto, ambos métodos presentan un grado bajo de correlación, lo cual hace necesario futuras investigaciones para su validez.

PALABRAS CLAVE: Estimación de la capacidad funcional. Actividad física. Análisis de regresión. Corredores.

ABSTRACT

Background: Reduced cardiorespiratory function is an independent risk factor for mortality by all causes, but mainly for coronary heart disease. Nevertheless, there are many difficulties in evaluating it by exercise testing in the epidemiological context. Alternative forms of evaluation have therefore been suggested using non-exercise regression models.

Aim: To comparatively analyse equations for predicting $\text{VO}_{2\text{max}}$ through the "Non-exercise test to estimate maximal oxygen uptake" (PAR/PAF), and the American College of Sports Medicine (ACSM) in runners of marathon.

Measurements: Socio-demographic variables: age (years), marital status, socioeconomic status, educational level, and membership of the Social Security Health System. Body composition variables: height (m), weight (kg), body mass index (BMI kg/m^2) and abdominal circumference. Functional capacity: equations for the prediction of functional capacity $\text{VO}_{2\text{max}}$ described by Jackson et al PAR/PAF and the ACSM.

Results: Correlations were seen between the ACSM calculation and the PAR/PAF questionnaire according to time of arrival ($p < 0,001$, $r^2 = 0,94$), (PNS, $r^2 = 0,00$), and according to age (PNS, $r^2 = 0,00$), ($p < 0,001$, $r^2 = 0,87$), $n = 81$, respectively. When differentiating by age group, with the calculation of the ACSM and the PAR/PAF, a significant correlation was found in the > 30 years group according to time of arrival ($p < 0,001$, $r^2 = 0,95$), (PNS, $r^2 = 0,09$), respectively. Results compared depending on age, ACSM (PNS, $r^2 = 0,03$), PAR/PAF ($p < 0,001$, $r^2 = 0,78$). In the < 30 years group, compared with the methods the time of arrival, the calculation of the ACSM showed a high correlation ($p < 0,001$, $r^2 = 0,97$), compare to the PAR/PAF calculation (PNS, $r^2 = 0,03$). When comparing the two methods and their relationship with age, there were no significant correlations ($r^2 = 0,22$) and ($r^2 = 0,05$). A correlation between the two methods for indirectly estimating $\text{VO}_{2\text{max}}$ in the half-marathon runners was found only in the > 30 years group ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$.

Conclusion: This study showed a higher adjusted r^2 , which reflected the quality and the prediction power of the models. The authors conclude that cardiorespiratory assessment by non-exercise models in epidemiological studies could be feasible.

KEY WORDS: Estimation of maximal oxygen uptake. Physical fitness. Regression analysis. Runners.

Recibido el 28 de julio de 2008 / Aceptado el 1 de enero de 2009.

Correspondencia: Robinson Ramírez Vélez (robin640@hotmail.com).

INTRODUCCIÓN

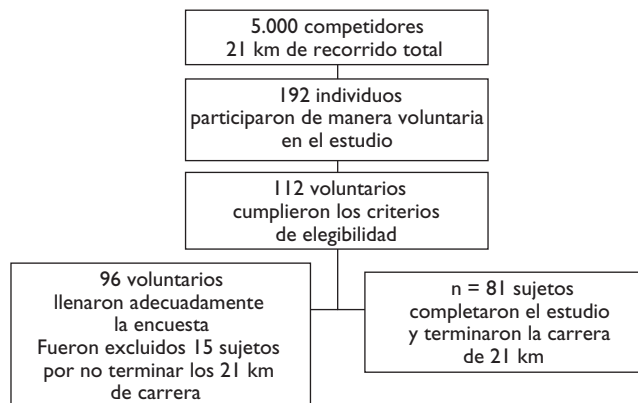
La medición de la capacidad funcional, o $VO_{2m\acute{a}x}$, es reconocida ampliamente como la forma más objetiva de determinar la aptitud física y representa la capacidad funcional máxima de un individuo^{1,2}. Medida en situación de reposo, indica el metabolismo basal y corresponde aproximadamente a 3,5 ml/kg/min o unidad metabólica, también llamada MET^{3,4}. Actualmente el $VO_{2m\acute{a}x}$ ha sido considerado como un determinante del estado de salud y su disminución se ha asociado al riesgo de padecer enfermedades crónicas, principalmente enfermedad coronaria⁵. Sin embargo, existen diferentes factores que pueden modificar este indicador. Se postula que la edad es un factor que se asocia a la disminución del $VO_{2m\acute{a}x}$, y éste es atenuado de manera positiva en personas entrenadas que participan de la práctica habitual de ejercicio físico^{6,7}. Un estudio transversal clásico apoya esta hipótesis: en la década de los ochenta Heath et al⁸ demostraron que el $VO_{2m\acute{a}x}$ disminuye en un 9% por década en varones sedentarios, mientras que en sujetos entrenados la reducción fue de sólo un 5% por decenio. Por el contrario, un reciente metaanálisis que agrupó un conjunto de 242 estudios no encontró diferencias significativas en la disminución absoluta del $VO_{2m\acute{a}x}$ con la edad en sujetos entrenados en comparación con sus controles sedentarios⁹. Estas diferencias pueden explicarse por el diseño del estudio, pues es bien conocido que los estudios transversales pueden subestimar la verdadera pendiente de la edad relacionada con la disminución de la capacidad funcional vista en estudios longitudinales^{10,11}.

A pesar de su importancia, el costo-efectividad de la aplicación de esta medición deja una laguna en la literatura por su alto costo y su frecuencia no resulta muy práctica, ya que se requiere un sofisticado equipo de laboratorio, habilidad, tiempo y necesidades relacionadas con la metodología que a menudo limitan su aplicación. Por lo tanto, para estimar la $VO_{2m\acute{a}x}$ y/o cuantificar la aptitud física se han propuesto métodos adicionales. Por ejemplo, Jackson et al han desarrollado múltiples ecuaciones de bajo costo conocidas como “modelos de regresión”, que predicen la capacidad funcional sin realizar pruebas de ejercicio. Modelos como el test de Cooper, el PWC 170, el Harvard Step Test y otros de más reciente creación, como el GTX del American College of Sport Medicine (ACSM)¹², pueden convertirse en herramientas metodológicas económicas y eficientes para evaluar este importante indicador de salud.

Tras lo expuesto, el propósito de este estudio es realizar un análisis comparativo para estimar el $VO_{2m\acute{a}x}$ mediante las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al¹³, “Non-exercise regression models to estimate peak oxygen consumption” (PAR/

Figura 1

Diseño del estudio.



PAF), y el cálculo metabólico indirecto, mediante la fórmula del ACSM^{14,15} y su relación con el tiempo registrado al final de la competencia, algunos indicadores antropométricos y socio-demográficos, en un grupo de voluntarios participantes de la 7.ª Media Maratón de Santiago de Cali en 2008.

MÉTODOS

Tipo de estudio: Transversal.

Población de estudio: Se convocó de manera voluntaria a participantes de sexo masculino, mayores de 18 años, procedentes de cualquier zona del país (urbana o rural), aparentemente sanos, con disposición de participar en el estudio, mediante la firma del consentimiento informado voluntario y que estuvieran inscritos en la 7.ª edición de la Media Maratón de Santiago de Cali, en 2008 (fig. 1)¹⁶.

Criterios de exclusión. Se excluyeron los sujetos que en la encuesta de antecedentes personales incluyeron: cirugía o trauma mayor reciente, enfermedad endocrina conocida, enfermedades autoinmunes multiorgánicas o sistémicas, alteración respiratoria o sistémica significativa, alteración cardíaca significativa, enfermedades infecciosas sistémicas y alteraciones osteomusculares recientes (< 1 mes) que pudieran interferir con la realización de la carrera.

Procedimientos. Antes de ser incluidos, los participantes fueron informados acerca de la investigación, suministrando su consentimiento en forma voluntaria y recibiendo explicación sobre la prueba antropométrica y el diligenciamiento del cuestionario autoadministrado PAR/PAF para conocer la percepción de la capacidad funcional $VO_{2m\acute{a}x}$. La encuesta se comple-

tó con información adicional para conocer algunos datos sociodemográficos y con la evaluación de la composición corporal.

Variables sociodemográficas. Se categorizaron teniendo en cuenta los criterios definidos en otras encuestas nacionales (censo poblacional, 2005). Se preguntó por la etnia o raza, la edad, el estado civil, el estrato socioeconómico, el nivel de estudios y el tipo de afiliación al sistema de Seguridad Social en Salud.

Variables antropométricas. Se consideraron los criterios antropométricos acordados por el Kinanthropometric Aquatic Sport Project¹⁷. La estatura (m) se registró en estiramiento con tallímetro de 1 mm de precisión. El peso (kg) se comprobó con balanza de piso Detecto® de 100 g de precisión. Con estas variables se determinó el estado nutricional mediante el cálculo del índice de masa corporal (IMC, en kg/m²)¹⁸, y la toma del perímetro abdominal complementó la medición para realizar el cálculo de riesgo cardiovascular¹⁹.

Estimación de la capacidad funcional. Se indagó por la realización de actividad física habitual y de ejercicio físico utilizando la encuesta descrita por Jackson et al¹³, para la predicción de la capacidad funcional VO_{2máx}. Esta encuesta PAR/PAF consta de 2 partes. La primera, llamada PF-A (Perceived functional ability), consta de 10 alternativas de respuesta asignadas a una puntuación de escala simple que va de 0 a 10, siendo 0 un indicativo de no actividad física y 10 de actividad física vigorosa. La segunda parte lo conforma el PA-R (The NASA/JSC physical activity scale), el cual indaga sobre la cantidad de ejercicio físico desarrollado en las últimas 4 semanas por el participante mediante la suma de las puntuaciones, que van de 0 a 13, a través de la percepción que tiene el individuo al realizar el test de la milla, con un ritmo continuo en una pista plana, o el test de 3 millas. Con estas preguntas se estima de manera subjetiva el esfuerzo físico, a diferentes intensidades, sin percibir dificultad respiratoria o algún otro síntoma.

La fórmula para el cálculo de la capacidad física percibida fue estimada a través del modelo de regresión múltiple de Jackson et al¹³:

$$\text{PAR-PAF VO}_{2\text{máx}} = 44,895 + (7,042 \times \text{sexo}) - (0,823 \times \text{IMC}) + (0,738 \times \text{PA-F}) + (0,688 \times \text{PA-R})$$

$$\text{Sexo} = (\text{mujer} = 0; \text{varón} = 1)$$

IMC = (kg/m²). Los valores que proporciona la persona de su peso corporal (en kg) y estatura (en m).

El cálculo metabólico indirecto para estimar la VO_{2máx} en carrera horizontal se obtuvo mediante la fórmula tomada del American College of Sports Medicine¹⁴:

$$\text{ACSM VO}_{2\text{máx}} = 3,5 \text{ ml/kg/min} + (\text{vel m/min} \times 0,2) + (\% \text{ inclinación} \times \text{vel m/min} \times 1,8)$$

Disposiciones vigentes y consideraciones éticas. El estudio se enmarcó dentro de las disposiciones vigentes para la protección de los sujetos humanos que participan en investigaciones, contenidas en la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. Para tal efecto se contó con el aval de las diferentes instituciones participantes (Secretaría de Deporte y Recreación, Organización Médica Media Maratón de Cali y ZOE-Comité de investigaciones), quienes velaron por el cumplimiento de los aspectos éticos y de protección de la privacidad de los participantes. Los sujetos que aceptaron participar firmaron de manera voluntaria un consentimiento informado por escrito.

Análisis estadístico. Se empleó el programa SPSS versión 11.5® para el cálculo descriptivo (medidas de tendencia central y dispersión) de las variables socioeconómicas y antropométricas. El coeficiente de correlación de Pearson (r) y el ajuste con el estimador $r^2 = 1 - [(1 - R^2) n - 1 / n - p]$, para conocer la correlación entre las variables cuantitativas del PAR/PAF, ACSM y las variables antropométricas en la población general. Un análisis en los subgrupos < 30 y > 30 años por su asociación causal de morbilidad con las enfermedades crónicas y el VO_{2máx}, descritas en estudios epidemiológicos²⁰. La prueba U de Mann Whitney se utilizó para encontrar las diferencias del VO_{2máx} entre ambos test y las variables socioeconómicas.

RESULTADOS

Variables socioeconómicas. De acuerdo con su cultura, su comunidad o sus rasgos físicos, 41 (50,6%) sujetos se reconocieron como mestizos, seguido de 18 personas (22,2%) blancos y de 15 (18,5%) afrocolombianos o afrodescendientes. El estado civil que más prevaleció fue el de casado, con 30 individuos (37,0%), seguido de soltero (27; 33,3%), unión libre (11; 13,6%) y separado (10; 12,3%). En cuanto al nivel educativo alcanzado, se encontró que 28 (34,6%) personas habían realizado estudios universitarios, 25 (30,9%) eran bachilleres, 20 (24,7%) habían realizado estudios de educación tecnológica o técnica y 8 (9,9%) contaban con estudios de primaria. La ocupación actual que más predominó fue la de empleado a tiempo

Tabla I Características sociodemográficas de la población estudiada

Descripción sociodemográfica		Frecuencias	
		Absoluta	Relativa (%)
Etnia	Afrocolombiano o afrodescendiente	15	18,5
	Indígena	2	2,5
	Mestizo	41	50,6
	Blanco	18	22,2
	Otro	5	6,2
Procedencia	Nació en Cali	27	33,3
	Menos de 3 años	5	6,2
	Más de 3 años (pero no nació en la ciudad)	29	35,8
	No sabe / No contesta	20	24,7
Estado civil	Soltero	27	33,3
	Viudo	0	0,0
	Separado	10	12,3
	Divorciado	2	2,5
	Casado	30	37,0
	Unión libre	11	13,6
	No sabe / No contesta	1	1,2
Nivel educativo alcanzado	Ninguno	0	0,0
	Primaria	8	9,9
	Bachillerato	25	30,9
	Educación tecnológica o técnica	20	24,7
	Universitario	28	34,6
	No sabe / No contesta	0	0,0
Ocupación actual	Empleado a tiempo completo	48	59,3
	Empleado a tiempo parcial	7	8,6
	Independiente	22	27,2
	Desempleado	3	3,7
	No sabe / No contesta	1	1,2
Tipo de asistencia médica	EPS	60	74,1
	Medicina prepagada	8	9,9
	Sisben	4	4,9
	No tiene	9	11,1
Estrato socio-económico	Estrato 1	9	11,1
	Estrato 2	19	23,5
	Estrato 3	35	43,2
	Estrato 4	7	8,6
	Estrato 5	8	9,9
	Estrato 6	3	3,7

Tabla II Características antropométricas generales de la población estudiada

Variables	Media \pm DE	Mínimo	Máximo
Edad (años)	42,6 \pm 13,9	18,0	78,0
Peso (kg)	65,2 \pm 8,9	45,0	97,0
Estatura (cm)	168,6 \pm 7,1	135,1	178,3
IMC (kg/m ²)	22,9 \pm 2,6	16,5	28,7
Perímetro abdominal (cm)	79,4 \pm 8,0	61,0	108,0

DE: desviación estándar; IMC: índice de masa corporal.

completo, con 48 sujetos (59,3%), seguido de empleados independientes (22; 27,2%) y empleados a tiempo parcial (7; 8,6%). El 74% de los participantes tenían EPS (seguridad social) como el tipo de asistencia médica, mientras que un 11,1% refirieron no tener alguna afiliación al sistema de seguridad social (tabla I).

Variables antropométricas. En la tabla II se presentan los indicadores antropométricos de los participantes. La edad media fue de 42,6 \pm 13,9 años; el peso corporal, de 65,2 \pm 8,9 kg; la talla, de 168,6 \pm 7,1 m; el IMC, de 22,9 \pm 2,6 kg/m², mientras que el perímetro abdominal obtuvo un alcance de 79,4 \pm 8,0 cm. Con miras a completar la caracterización de la muestra en estudio, en la tabla III se presenta la distribución percentil para cada variable.

Estimación de la capacidad funcional. La tabla IV muestra el resultado de la capacidad física percibida con el cuestionario PAR/PAF y del ACSM y su distribución percentil. La media de ambos métodos para determinar el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ fue de 42,4 \pm 11,8 y 41,1 \pm 7,2, respectivamente. La figura 2 muestra las correlaciones entre el cálculo del ACSM y el cuestionario PAR/PAF: [A] correlación entre el ACSM y el PAR/PAF, en función al tiempo de llegada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,94$), (pNS, $r^2 = 0,00$), y [B] en función de la edad (pNS, $r^2 = 0,00$), ($p < 0,001$, $r^2 = 0,87$), $n = 81$, respectivamente. Al diferenciarlos por grupos de edad, con el cálculo del ACSM y el PAR/PAF en mayores de 30 años [C] se encontró una importante correlación en función al tiempo de llegada ($p < 0,001$, $r^2 = 0,95$), (pNS, $r^2 = 0,09$), respectivamente. Resultados contrarios en función de la edad, ACSM (pNS, $r^2 = 0,03$), PAR/PAF ($p < 0,001$, $r^2 = 0,78$) [D]. En menores de 30 años, comparados los métodos con el tiempo de llegada [E], el cálculo del ACSM demostró una alta correlación ($p < 0,001$, $r^2 = 0,97$), contrario al cálculo del PAR/

Tabla III Percentiles antropométricos y funcionales de la población estudiada

Percentiles	Edad (años)	Peso (kg)	Estatura (cm)	IMC (kg/m ²)	Perímetro abdominal (cm)
P ₅	19,0	53,0	158,0	18,8	66,7
P ₂₅	36,0	60,0	164,0	21,3	74,0
P ₅₀	44,0	64,0	168,0	22,8	78,0
P ₇₅	50,0	70,0	171,0	24,8	84,0
Media ± DE	42,6 ± 13,9	65,2 ± 8,9	168,6 ± 7,1	22,9 ± 2,6	79,4 ± 8,0

Tabla IV Percentiles del VO_{2máx} estimado en ambos métodos por grupos de edad

Percentiles	< 30 años VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	> 30 años VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	Todos VO ₂ PAR/PAF (ml/kg/min)	< 30 años VO ₂ ACSM (ml/kg/min)	> 30 años VO ₂ ACSM (ml/kg/min)	Todos VO ₂ ACSM (ml/kg/min)
P ₅	52,8	20,8	21,9	42,2	16,6	29,8
P ₂₅	56,4	33,5	34,4	45,1	26,8	36,8
P ₅₀	59,6	39,4	41,4	47,7	31,5	40,0
P ₇₅	62,4	44,8	50,3	49,9	35,8	46,8
Media ± DE	59,2 ± 4,2	38,2 ± 9,0	42,4 ± 11,8	47,4 ± 3,4	30,6 ± 7,2	41,1 ± 7,2

PAF (pNS, $r^2 = 0,03$). Al comparar ambos métodos y su relación con la edad, no se encontraron correlaciones significativas ($r^2 = 0,22$) y ($r^2 = 0,05$) [F].

No se encontraron correlaciones con los indicadores antropométricos (tabla V), pero sí diferencias entre ambos métodos con el indicador sociodemográfico estado civil $p < 0,001$ (tabla VI).

Finalmente, la correlación entre ambos métodos para estimar de manera indirecta el VO_{2máx} en corredores de media maratón sólo fue encontrada en el grupo de mayores de 30 años ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$ (datos no publicados).

DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación fue analizar comparativamente 2 modelos de estimación de la capacidad funcional o VO_{2máx}: “Non-exercise regression models to estimate peak oxygen consumption” (PAR/PAF) y el cálculo metabólico indirecto del ACSM. Estas estimaciones fueron comparables para proporcionar de manera práctica la capacidad funcional por VO_{2máx} de los evaluados, sin necesidad de costosos experimentos o pruebas de ejercicio. Los resultados del estudio demuestran que

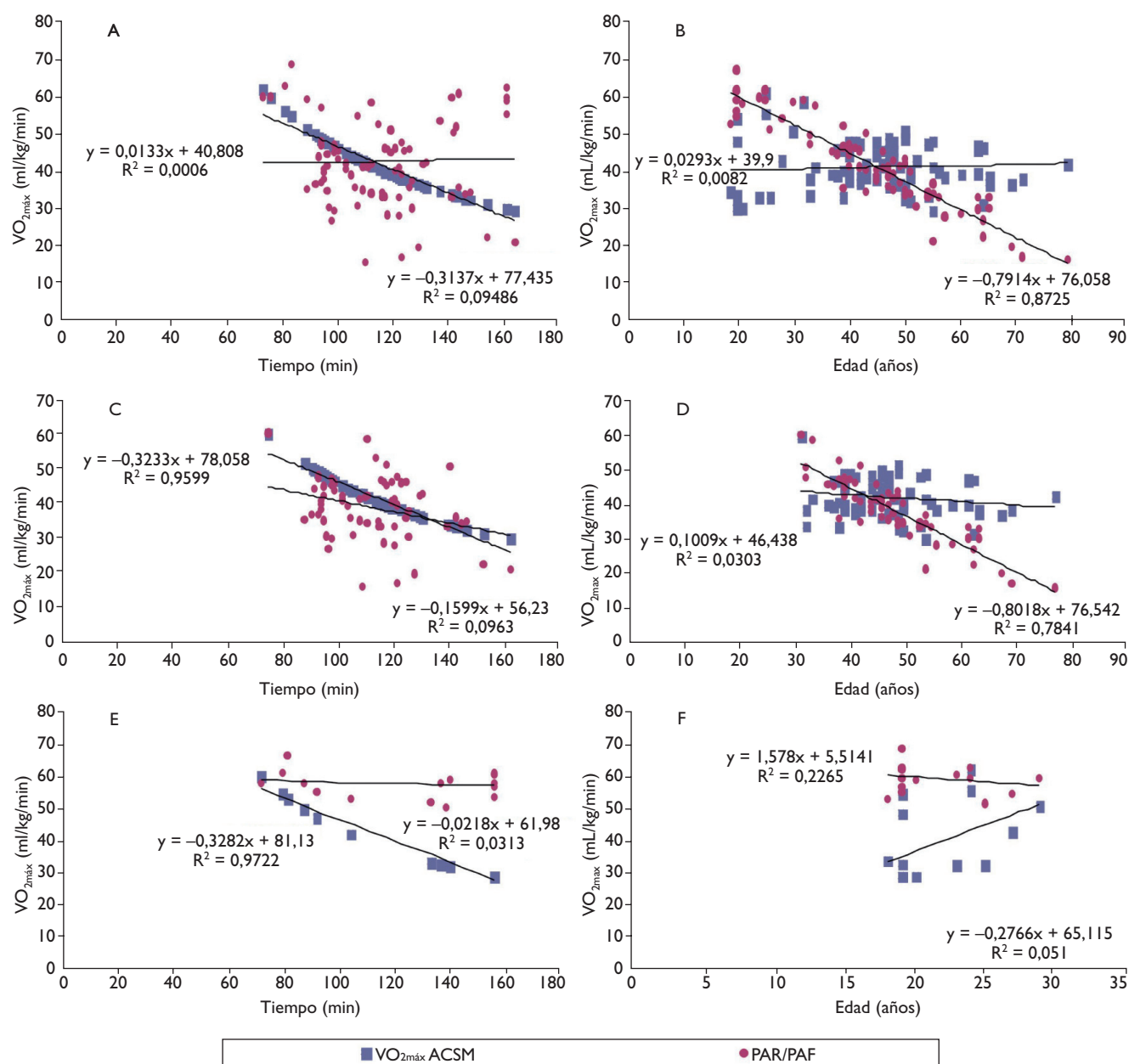
ambos métodos de predicción de la capacidad funcional por VO_{2máx} de un individuo subestiman este indicador fisiológico, especialmente en el grupo de menores de 30 años, dato que coincide con grandes estudios epidemiológicos²¹.

Hoy se conoce que la precisión de un modelo de regresión para predecir el VO_{2máx} debe considerar aspectos como la variabilidad genética, el estado de salud, la composición corporal, el sexo y la edad, que se sabe son importantes para su estimación²². Bouchard et al²³, han informado que alrededor del 25% de la varianza total de la capacidad funcional es el resultado de la herencia o de la dotación genética. Una debilidad potencial de las ecuaciones de regresión que actualmente se emplean es que sólo tienen en cuenta variables como la edad, el sexo y la composición corporal, lo que limita su capacidad para estimar con precisión el VO_{2máx}.

Otro aspecto que debe considerarse es la forma de administrar el cuestionario. El autoinforme de la actividad física, con preguntas actualmente utilizadas en estos modelos de regresión, probablemente ha limitado la precisión para estimar el VO_{2máx}²⁴. Por otro lado, el cálculo con la ecuación del ACSM tiene en cuenta variables como la velocidad del sujeto y el tipo de terreno, lo que podría explicar por qué algunos modelos de

Figura 2

Correlaciones del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ mediante la ecuación de predicción ACSM y PAR/PAF por tiempo de llegada y edades. Para más detalles, véase el texto.



regresión haciendo ejercicio son más exactos en la predicción del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ que los modelos de regresión sin realizarlo²⁵.

Otro hallazgo importante en este estudio es que ambos métodos estiman de manera diferente el $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Por ejemplo, se observa que hay correlación entre el cuestionario PAR/PAF con la edad (> 30 años) y la ecuación del ACSM, con relación al tiempo de llegada (fig. 2). Sin embargo, en menores de 30 años los resultados de predicción del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ fueron diferentes (sin

estadísticos que lo confirmen; tabla IV). Por lo tanto, postulamos que las diferencias de las medias del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en los menores de 30 años pueden ser explicadas posiblemente por la manera de indagar o por la percepción de la capacidad física que tiene cada individuo a la hora de realizar un ejercicio aeróbico, dato valioso para explicar este desacuerdo (tabla IV). Potenciales limitaciones que tiene el modelo PAR/PAF son las preguntas utilizadas en el presente estudio. En primer lugar, la capacidad

Tabla V

Análisis correlacional de las variables antropométricas y las ecuaciones de predicción del $VO_{2\text{máx}}$ ($n = 81$)

	Ecuación $VO_{2\text{máx}}$ ^a	
	VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	VO_2 ACSM (ml/kg/min)
IMC r^2 ^b	(-0,18) $p = 0,10$	(0,04) $p = 0,70$
Peso corporal r^2 ^b	(-0,019) $p = 0,86$	(-0,05) $p = 0,59$
Perímetro abdominal r^2 ^b	(-0,23) $p = 0,39$	(0,06) $p = 0,55$

^aVariable funcional.

^bVariable antropométrica.

Tabla VI

Diferencias de las variables sociodemográficas y las ecuaciones de predicción del $VO_{2\text{máx}}$

Ecuación $VO_{2\text{máx}}$	Estado civil	
	Soltero ($n = 30$)	Casado ($n = 27$)
VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	51,6	36,6*
VO_2 ACSM (ml/kg/min)	53,4	41,3
	Nivel de estudios	
	Bachiller ($n = 25$)	Universitario ($n = 28$)
VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	28,9	25,2
VO_2 ACSM (ml/kg/min)	27,1	26,8
	Estrato socioeconómico	
	Bajo ($n = 27$)	Alto ($n = 30$)
VO_2 PAR/PAF (ml/kg/min)	42,1	37,0
VO_2 ACSM (ml/kg/min)	40,0	43,1

* $p < 0,001$ prueba U de Mann Whitney.

predictiva de las preguntas PAF depende de actividades como caminar, trotar o correr, y se debe conocer además la intensidad de ejercicio con preguntas como “No demasiado fácil y no demasiado duro”. Ciertas personas que no están familiarizadas con el ejercicio prolongado y/o con el tiempo que se tarda en cubrir la distancia prescrita en el cuestionario pueden ser limitantes para calcular con precisión el $VO_{2\text{máx}}$. Otras maneras de predecir con encuestas la capacidad funcional de un sujeto es distinguir la intensidad del ejercicio (entre ligera, moderada y vigorosa), lo que podría limitar la precisión de la respuesta. De igual forma, como ocurre con todos los cuestionarios de autoinforme de datos, las respuestas del PAR/PAF pueden verse

influidas por una variedad de actividades sociales, cognitivas y algunos factores psicológicos. De esta manera, la tendencia a sobreestimar o subestimar la percepción de la capacidad funcional podría ser influida por cualquier combinación de estos 3 factores. También se desconoce si actualmente las ecuaciones desarrolladas por el ACSM pueden considerarse como un patrón estándar indirecto (es decir, frente a las pruebas de laboratorio o de campo utilizadas en medicina del deporte) para estimar el $VO_{2\text{máx}}$.

Al estudiar la relación entre los métodos y algunos indicadores antropométricos se encontró una débil correlación inversa entre el IMC y el perímetro abdominal ($r^2 = -0,18$) y ($r^2 = -0,23$) con la ecuación PAR/PAF, respectivamente, sin diferencias significativas. Parte de la dilucidación al primer fenómeno podría explicarse, ya que este modelo de regresión utiliza el IMC en su fórmula para predecir el $VO_{2\text{máx}}$. Por último, la correlación encontrada entre ambos métodos para estimar de manera indirecta el $VO_{2\text{máx}}$ en corredores de media maratón sólo se demostró en el grupo de mayores de 30 años ($p < 0,01$, $r = 0,32$), $n = 65$. Contrario a lo encontrado en este estudio, Leon et al²⁶, en 1981, encuentran en 175 varones de mediana edad un índice de concordancia $r = 0,53$ clasificado como moderado. Por otra parte, Blair²⁷, en 1981, tras interrogar a 15.627 varones de entre 9 y 42 años de edad y a 3.943 mujeres de entre 10 y 42 años, estimó un índice de concordancia de $r = 0,60$ en varones, clasificado como moderado, y de $r = 0,20$ a $r = 0,49$ en mujeres, clasificado como bajo y moderado, respectivamente. En el estudio de referencia descrito, Jackson et al¹³ muestran un índice de concordancia bueno: $r = 0,62$. Por último, Pearson et al, en 1990, tras evaluar a 423 varones y a 43 mujeres, obtuvieron $r = 0,82$ en varones y $r = 0,79$ en mujeres.

Por último, se sugiere que la ecuación de regresión PAR/PAF podría emplearse para estimar el $VO_{2\text{máx}}$ en personas adultas (> 30 años), como exponen algunos de los más grandes estudios epidemiológicos internacionales²⁸⁻³³.

CONCLUSIONES

Cualquier método de predicción de la capacidad funcional, o $VO_{2\text{máx}}$, tiene ventajas y limitaciones que deben considerarse antes de seleccionar un determinado modelo o prueba. Modelos de regresión como el PAR/PAF o ecuaciones como las descritas por el ACSM no tienen en cuenta las influencias genéticas, las respuestas fisiológicas al ejercicio o las posibles enfermedades. Muchos de ellos se basan en calificaciones subjetivas de actividades físicas y/o ejercicios en un tiempo determinado, o tienen en cuenta medidas de la composición corpo-

ral o simplemente la edad. El modelo de regresión PAR/PAF utiliza el sexo, el IMC y la encuesta PA-R para predecir el $VO_{2\text{máx}}$ y es comparable con otros modelos de regresión utilizados en el laboratorio, como el cálculo metabólico del ACSM. Se requieren futuras investigaciones para justificar y establecer la validez y la fiabilidad de las preguntas del PAR/PAF a través de una variedad de muestras y compararlas con el patrón estándar directo (es decir, pruebas de laboratorio o ergoespiometría) para estimar el $VO_{2\text{máx}}$.

Aunque el PAR/PAF es un modelo de regresión muy bien desarrollado y diferentes autores lo postulan como un método fácil y económico para predecir el $VO_{2\text{máx}}$ en sujetos físicamente activos, antes de su uso se recomienda tener en cuenta con-

sideraciones como el estatus de salud, el nivel de entrenamiento y una variedad de actividades sociales, cognitivas y algunos factores psicológicos, pues éstas son observaciones que podrían ofrecer un informe inexacto del nivel de actividad física que afectaría la predicción.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a los estudiantes del Programa de Fisioterapia de la Fundación Universitaria María Cano, Extensión Cali, John Jairo Hernández, Juan Pablo Salinas, Katherine Meza y Ximena Cifuentes, por el apoyo técnico prestado en las mediciones antropométricas realizadas en el estudio.

Bibliografía

1. Taylor H, Hansen J. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol.* 1955;8:73-80.
2. Wasserman K, Hansen J, Sue D, Casaburi R, Whipp B. Principles of exercise testing and interpretation. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 1999. p. 35-108.
3. Tartibian B, Khorshidi M. Prediction of physiological indexes in exercise (field & laboratory). Tehran (Iran): Teymorzadeh; 2005. p. 84-96.
4. McArdle D, Katch F, Katch V. Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2.^a ed. Madrid: McGraw-Hill; 2004. p. 365-9.
5. Blair SN, Kohl III HW, Paffenbarger RS, Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW. Physical fitness and all-cause mortality: a prospective study of healthy men and women. *JAMA.* 1989;22:2395-401.
6. The relation of body mass index, cardiorespiratory fitness, and all-cause mortality in women. *Obesity Research.* 2002;10:417-23.
7. Lee IM, Hsieh CC, Paffenbarger RS Jr. Exercise intensity and longevity in men. The Harvard Alumni Health Study. *JAMA.* 1995;273:1179-784.
8. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, et al. A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J Appl Physiol.* 1981;51:634-40.
9. Wilson TM, Tanaka H. Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: Relation to training status. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2000;278:H829-34.
10. Trappe SW, Costill DL, Vukovich MD, et al. Aging among elite distance runners: 22-yr longitudinal study. *J Appl Physiol.* 1996; 80:285-90.
11. Marti B, Howald H. Long-term effects of physical training on aerobic capacity: controlled study of former elite athletes. *J Appl Physiol.* 1990;69:1451-9.
12. Ramírez-Vélez R, Delgado P. Análisis comparativo de las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al y por el ACSM American College Sport Medicine para predecir el consumo máximo de oxígeno en estudiantes universitarios. *Revista Fisioterapia.* 2008;30:24-33.
13. Jackson A, Blair S, Mahar M, Wier L, Ross R, Stuteville J. Prediction of functional capacity aerobic exercise testing. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:863-70.
14. American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1995. p. 277.
15. American College of Sports Medicine (ACSM). Position stand on exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;30:992-1008.
16. Simon S. A Review of: "Interpreting and Reporting Clinical Trials: A Guide to the CONSORT Statement and the Principles of Randomised Controlled Trials, by A. Keech, V. Gebski, and R. Pike (eds.)". *J Biopharm Stat.* 2008;18:802-4.
17. Mazza J, Carter J, Ross W, Ackland T. Kinanthropometric Aquatic Sport Project. Aquatic Sport's World Champ. AUS. A proposal submitted to the VIII World FINA Medical Committee Meeting. London: 1991.
18. Chobanian AV, Bakris GL, Black HR, Cushman WC, Green LA, Izzo JL Jr, et al. Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. National Heart, Lung, and Blood Institute; National High Blood Pressure Education Program Coordinating Committee. Hypertension. 2003;42:1206-52.
19. Pérez M, Casas JP, Cubillos LA, Serrano NC, Silva FA, Morillo CA, et al. Using waist circumference as screening tool to identify Colombian subjects at cardiovascular risk. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation.* 2003;10:328-35.

20. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J.* 1973;85:546-62.
21. Whaley MHL, Kaminsky A, Dwyer GB, Getchell LH. Failure of predicted VO_{2peak} to discriminate physical fitness in epidemiological studies. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:85-91.
22. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance. Philadelphia: Lea and Febiger, 1991. p. 216-21.
23. Bouchard CFT, Dionne J, Simoneau P, Boulay M. Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exerc Sport Sci Rev.* 1992; 20:27-58.
24. Baranowski T. Validity and reliability of self report measures of physical activity: An information-processing perspective. *Res Q Exerc Sport.* 1988;59:314-27.
25. George JD, Stone WJ, Burkett, LN. Non-exercise VO_{2max} estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;22:415-23.
26. Leon AS, Jacobs DR, DeBacker G, Taylor HL. Relationship of physical characteristics and life habits to treadmill capacity. *Am J Epidemiol.* 1981;113:653-60.
27. Blair SN, Kannel WB, Kohl HW, Goodyear N, Wilson PWF. Surrogate measures of physical activity and physical fitness. *Am J Epidemiol.* 1989;129:1145-56.
28. Mayhew JL, Gifford PB. Prediction of maximal oxygen uptake in preadolescent boys from anthropometric parameters. *Res Quart.* 1975;46:302-11.
29. Verma SS, Sharma YK, Kishore N. Prediction of maximal aerobic power in healthy Indian males 21-58 years of age. *Z Morphol Anthropol.* 1998;82:103-10.
30. Kolkhorst FW, Dolgener FA. Nonexercise model fails to predict aerobic capacity in college students with high VO_{2peak} . *Res Q Exerc Sport.* 1994;65:78-83.
31. Cardinal BJ. Predicting cardiorespiratory fitness without exercise testing in epidemiologic studies: a concurrent validity study. *J Epidemiol.* 1996;6:31-5.
32. Whaley MH, Kaminsky LA, Dwyer GB, Getchell LH. Failure of predicted VO_{2max} to discriminate physical fitness in epidemiological studies. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:85-91.
33. Williford HN, Scharff-Olson M, Wang N, Blessing DL, Smith FH, Duey WJ. Cross-validation of non-exercise predictions of VO_{2peak} in women. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:926-30.