

CAPACIDAD CARDIOPULMONAR EN SUJETOS SANOS MEDIDA POR MÉTODO DIRECTO Y PRUEBA DE CAMPO

JAIME A. VÁSQUEZ-GÓMEZ^{1,2,4}, RICARDO SOUZA DE CARVALHO^{3,4}, CESAR P. FAUNDEZ-CASANOVA^{3,4}, FRANKLIN H. CASTILLO-RETAMAL³, PATRICIO J. GATICA-MANDIOLA³, MARCELO E. CASTILLO-RETAMAL^{3,4},
en representación de GEEAFYS (Grupo de Estudios en Educación, Actividad Física y Salud)

¹Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, ²Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Maule (CIEAM),
³Departamento de Ciencias de la Actividad Física, ⁴Laboratorio de Rendimiento Humano,
Universidad Católica del Maule, Talca, Chile

Resumen La prueba de caminata de seis minutos se ha aplicado generalmente en enfermos, y algunos estudios han propuesto modelos para predecir el consumo máximo de oxígeno. Nuestro objetivo fue elaborar una ecuación para predecir el consumo máximo de oxígeno en la prueba de caminata de seis minutos para estudiantes universitarios. Participaron 140 estudiantes. Se aplicó el test de marcha y después se realizó una prueba de ejercicio gradual para determinar el consumo máximo de oxígeno. Se elaboró una ecuación multivariada y el análisis se hizo con el programa SPSS v.22 ($p < 0.05$). El modelo predictivo incluyó el sexo, edad, índice de masa corporal, distancia recorrida y la frecuencia cardíaca de recuperación ($r = 0.83$; $p < 0.001$). La ecuación cumplió con los supuestos de independencia ($p = 0.13$), de normalidad ($p = 0.49$) y de homocedasticidad ($p = 0.64$). El diagrama de Bland-Altman indicó que no hubo diferencias significativas entre la ecuación y la medición del consumo máximo de oxígeno ($p = 0.89$), con un intervalo de confianza de $0.054 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (95% IC [-0.72; 0.83]). La ecuación predice el consumo máximo de oxígeno. Se sugiere evaluar estudiantes universitarios considerando diferencias biológicas y ambientales entre países.

Palabras clave: *fitness* cardiorrespiratorio, prueba de ejercicio, caminata, valor predictivo de las pruebas, consumo de oxígeno

Abstract *Cardiopulmonary capacity in healthy subjects measured by direct method and field test.* The six-minute walk test has been generally applied in people with pathologies and some studies have proposed models to predict maximum oxygen consumption. Our objective was to elaborate on an equation to predict the maximum oxygen consumption in the six-minute walking test for university students. A hundred and forty people participated in this study. The six-minute walking test was applied and after on a gradual exercise test was performed to determine the maximum oxygen consumption. A multivariate equation was developed and the analysis was done using the SPSS v.22 program ($p < 0.05$). The predictive model include gender, age, body mass index, distance performed and heart rate recovery ($r = 0.83$; $p < 0.001$). The equation fulfilled the assumptions of independence ($p = 0.13$), normality ($p = 0.49$) and homoscedasticity ($p = 0.64$). The Bland-Altman diagram indicated that there were no significant differences between the equation and the measurement of the maximum oxygen consumption ($p = 0.89$), with a confidence interval of $0.054 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (95% CI [-0.72; 0.83]). The equation predicts the maximum oxygen consumption. It is suggested to evaluate university students considering biological and environmental differences between countries.

Key words: cardiorespiratory fitness, exercise test, walking, predictive value of tests, oxygen consumption

PUNTOS CLAVE Conocimiento actual

- La prueba de caminata de seis minutos se ha aplicado generalmente en personas con patologías, también en niños y personas mayores. Se han elaborado ecuaciones para predecir la distancia recorrida y algunas para estimar el consumo de oxígeno. En Chile, hay escasa evidencia respecto a la población estudiantil.

Contribución del artículo al conocimiento actual

- El aporte es un modelo para predecir el consumo máximo de oxígeno en el test de marcha en estudiantes universitarios chilenos, en base a variables fisiológicas, de adiposidad corporal y distancia recorrida. Además, brinda una herramienta de fácil utilización para los profesionales de la actividad física y salud.

Las pruebas de campo se han utilizado para la predicción del consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2$ máx.)¹, una de estas pruebas es la caminata de seis minutos (PC6M) que se caracteriza por ser factible de aplicar, tiene un bajo coste económico y sirve para evaluar la aptitud cardiorrespiratoria². En la PC6M generalmente se mide la distancia recorrida^{3, 4}, que ha demostrado tener correlación con el $\dot{V}O_2$ máx.⁴, por eso se ha utilizado para relacionarla con la capacidad cardiopulmonar en diferentes grupos de pacientes como aquellos con patologías cardíacas⁵⁻⁷, pulmonares⁸⁻¹⁰, cerebro-vasculares¹¹, y en algunas ocasiones también en personas saludables¹²⁻¹⁶.

Pocas investigaciones han evaluado la capacidad cardiopulmonar en estudiantes universitarios utilizando la PC6M, a excepción de un estudio en que se la relacionó con el $\dot{V}O_2$ máx.¹³, y otros que elaboraron un modelo predictivo^{17,18}. Se debe considerar que los universitarios se ven enfrentados a cambios en sus conductas de vida debido a que asumen responsabilidades de mayor autonomía en sus estilos de vida, a nivel social, cultural y fisiológico¹⁹, desórdenes alimentarios, cambios en la composición corporal y en la práctica de actividad física. De hecho, la prevalencia del sedentarismo está cerca del 90% en Latinoamérica, y la práctica de actividad física tres veces por semana ha demostrado tener una duración inferior a 30 minutos en los universitarios²⁰ y, más aún, si bien la mitad de la población universitaria es físicamente activa, muy probablemente la actividad física disminuye con el paso de los años²¹. Ante esta situación, creemos que es pertinente evaluar la capacidad cardiopulmonar en la población universitaria a través de métodos que sean accesibles, de corta duración y que requieran un esfuerzo submáximo, y presumimos que

algunos indicadores del desempeño en esta prueba, junto a características morfológicas se correlacionan y se pueden extrapolar a valores reales de $\dot{V}O_2$ máx. de los propios estudiantes. Por lo tanto, nuestro objetivo fue elaborar una ecuación para predecir el $\dot{V}O_2$ máx. en la prueba de caminata de seis minutos a partir de la medición directa con ergoespirómetro, en estudiantes universitarios de ambos sexos.

Materiales y métodos

Participaron 140 individuos, hombres y mujeres, estudiantes universitarios de diversas carreras o cursos profesionales (sin incluir a estudiantes de educación física) que se reclutaron por medio de inscripción voluntaria en diferentes dependencias de la universidad (bibliotecas, salas de clase). Luego los investigadores tomaron contacto con ellos para entregar los detalles del procedimiento. Se invitó a los estudiantes a no realizar ejercicio físico 48 horas antes, respetar ocho horas de sueño el día previo, no ingerir alcohol y no ingerir alimentos en exceso 2 a 3 horas antes de las mediciones. Los participantes firmaron un consentimiento por escrito que fue aprobado por el Comité de Ética Científico de la Universidad Católica del Maule, Talca, Chile (17/2018).

Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Rendimiento Humano de dicha Universidad, utilizando para ello una sesión única para la recolección de datos de cada participante. En primera instancia se midió la presión arterial sistólica y diastólica, y la frecuencia cardíaca (FC) de reposo (monitor de presión arterial automático marca OMRON modelo BP760 serie 7, Japón), la saturación de oxígeno (oxímetro de pulso marca Carewell modelo F1, China), el peso corporal y estatura sin calzado y con ropa ligera, con una báscula mecánica con estadímetro (DETECTO modelo 3P7044 de capacidad de 140 kg, EE.UU.). Posteriormente se aplicó la PC6M en que se les solicitó a los participantes recorrer la mayor distancia posible, para ello se habilitó un pasillo de 30 metros de largo²² demarcado cada metro. Al realizar el test se controló que siempre fuera caminando rápido y en ningún caso corriendo, esto para evitar una fase aérea o una consecución de saltos que caracterizan la carrera. El participante llevó un monitor cardíaco (Polar V800, Finlandia) el cual consistió en una banda torácica ajustable con sensor y un reloj de pulsera con el que se grabó la FC durante los seis minutos de marcha, y en un minuto de recuperación, esta última medición fue en posición de pie y estacionaria. Los datos de FC se traspasaron con el programa Polar®FlowSync hacia la cuenta personal del investigador en el sitio web Polar®Flow de donde se extrajeron los registros para el posterior análisis. Al finalizar la caminata se interrogó a los participantes sobre la percepción subjetiva del esfuerzo²³ (PSE) y se contabilizó la distancia recorrida. Después de 15 minutos de descanso se realizó la prueba de ejercicio cardiopulmonar (PEC) de Bruce, donde se le solicitó a cada participante dar su máximo esfuerzo hasta llegar a la fatiga física. Esta prueba tuvo siete etapas, de tres minutos de duración, con inclinación de la cinta rodante y velocidad estable en cada una de ellas, de esta manera la primera etapa tuvo una inclinación de 10° y velocidad de 2.7 km·h⁻¹, le siguieron 12, 14, 16, 18, 20 y 22° con 4.0; 5.4; 6.7; 8.0; 8.8 y 9.6 km·h⁻¹, respectivamente (la conversión a millas

por hora es 1.7; 2.5; 3.4; 4.2; 5.0; 5.5 y 6 m·h⁻¹). El ergómetro utilizado fue una cinta rodante motorizada (3.3 kW) con capacidad máxima de 200 kg modelo h/p/cosmos mercury® (Alemania) debidamente calibrada según las instrucciones del fabricante. Para la medición de las variables cardiopulmonares se utilizó un ergoespirómetro modelo MetaLizer® 3B marca CORTEX (Alemania) que cuenta con máscara facial y correa ajustable, turbina de flujo de aire, línea de gases con sensor de O₂ y CO₂, y monitor de FC integrado con transmisión vía bluetooth. Las variables fueron controladas en tiempo real a cada respiración en el *software* MetaSoft®Studio compatible con el ergoespirómetro y luego fueron exportadas a planillas Excel 2010 (Microsoft®, EE.UU.). Previo a las mediciones se calibró el ergoespirómetro en base a flujos de aire con jeringa de 3 litros CORTEX (Alemania) y los gases de aire ambiente O₂ y CO₂ según instrucciones del fabricante. Cada 30 días se calibró la mezcla de gases (O₂ y CO₂) con botella de gas de 1 litro CORTEX (Alemania) y con el aire ambiente, y los flujos de aire con jeringa. Cada seis meses se calibró la presión barométrica, que estuvo cercana a 1000 mbar. Para determinar el $\dot{V}O_2$ máx. de los participantes se utilizó como criterio alcanzar un índice de intercambio respiratorio (IR) ≥ 1.11 ²⁴⁻²⁷, una FC ≤ 10 latidos·min⁻¹ o un $\leq 5\%$ respecto a la máxima estimada según la edad (220 – edad)²⁸. Al finalizar el test se interrogó a los estudiantes sobre el PSE.

Para determinar posibles diferencias entre ambos sexos en la antropometría básica, signos vitales, rendimiento en la PC6M y PEC, se usó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, el supuesto de homocedasticidad de Levene y se aplicó la prueba t-Student para muestras independientes o el test de Wilcoxon, según correspondiera. Se utilizó el test ANOVA de un factor para determinar posibles diferencias en el $\dot{V}O_2$ máx. entre las Facultades a las que pertenecieron los estudiantes, acompañado de la prueba *post hoc* de Tukey. Se determinó las variables independientes (antropometría básica,

sexo, rendimiento en la PC6M) que se correlacionaron de manera significativa con el $\dot{V}O_2$ máx. para utilizarlas en una regresión multivariada. La bondad de ajuste se evaluó con el coeficiente de determinación R² para el $\dot{V}O_2$ máx. y la distancia recorrida en la PC6M, según sexo e IMC, y para la validez del modelo predictivo se comprobó los supuestos distribucionales de normalidad de los residuos con la corrección de Lilliefors, el supuesto de independencia de los residuos con la prueba de Durbin-Watson y el supuesto de homocedasticidad con la prueba de Breuch-Pagan. Finalmente se verificó la concordancia entre la medición directa del $\dot{V}O_2$ máx. y la predicción con la ecuación en el diagrama de Bland-Altman, incluyendo rangos de confiabilidad de ± 1.96 . Se utilizó el programa SPSS® versión 22 (IBM, EE.UU.) en que la significación estadística se asumió con un p-valor < 0.05. Se excluyó a 10 estudiantes del análisis de datos ya que no cumplieron con los criterios para determinar su $\dot{V}O_2$ máx. (Tabla 1).

Resultados

En la Tabla 1 se presentan algunas variables demográficas, de antropometría básica y signos vitales en reposo. En la mayoría de ellas hay diferencias entre hombres y mujeres.

Los participantes excluidos fueron 5 hombres y 5 mujeres. Los participantes tuvieron una edad de 21.4 \pm 1.5 y 22 \pm 0.8 años (p = 0.6), un IMC de 22.3 \pm 1.2 y 23.3 \pm 2.1 kg·m⁻² (p = 0.34), en la PEC un $\dot{V}O_2$ peak de 45.8 \pm 2.8 y 40.6 \pm 3.5 ml·kg·min⁻¹ (p = 0.04), una FC máxima de 178 \pm 2 y 180 \pm 6 latidos·min⁻¹ (p = 0.24), un porcentaje de FC de 89.5 \pm 1 y 91.1 \pm 3.1 (p = 0.11), un IR de 1.04 \pm 0.03 y 1.06 \pm 0.04 (p = 0.4) y tiempo en claudicar el test

TABLA 1.– Datos básicos y signos vitales de los participantes

	Total (n = 130)		Hombres (n = 64)		Mujeres (n = 66)		p-valor ^d
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
Edad (años)	21.9	2.1	22.2	2.5	21.6	1.6	0.14
Peso (kg)	66.5	10.7	72	9	61.1	9.5	< 0.001
Estatura (m)	1.66	0.09	1.73	0.06	1.6	0.06	< 0.001
IMC (kg/m ²)	24	3.1	24.1	2.9	23.9	3.3	0.64
PAS rep. (mmHg)	117	14	124	12	110	12	< 0.001
PAD rep. (mmHg)	71	10	72	9	71	10	0.43
FC rep. (latidos/min ⁻¹)	76	12	72	10	79	12	< 0.001
Saturación O ₂ (%)	98.5	2	98.6	1	98.3	2.6	0.57 ^w

DE: desviación estándar; FC: frecuencia cardíaca; IMC: índice de masa corporal; O₂: oxígeno; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; rep.: reposo

^d: diferencias entre hombres y mujeres

^w: Wilcoxon

de 9.7 ± 1.3 y 8.8 ± 1.3 minutos ($p = 0.34$), en hombres y mujeres, respectivamente.

En la Tabla 2 se aprecia el rendimiento en la PC6M y en la recuperación. La demanda cardiovascular fue menor en los hombres, aunque la percepción del esfuerzo no fue distinta a las mujeres, y la distancia recorrida fue más alta en los hombres.

Respecto a la PEC, la captación máxima de oxígeno fue distinta entre hombres y mujeres siendo menor en estas últimas en términos absolutos y relativos. También lo fue el intercambio respiratorio (VCO_2/VO_2) y el porcentaje de FC alcanzado, los que fueron más elevados en los hombres, así como el tiempo empleado para terminar la PEC. Al analizar por Facultad a la que pertenecieron los estudiantes se encontró diferencias en el $\dot{V}O_2$ máx. ($F[6, 123] = 3.945$; $p = 0.001$), en específico entre las Facultades de Ciencias de la Ingeniería, de Ciencias Agrarias y Forestales, y de Ciencias de la Educación (Tabla 3).

Sobre los dos test aplicados, se encontró diferencias entre la FC de recuperación en 20 segundos post-caminata y la FC basal en el test de Bruce, en la muestra, en hombres y en mujeres, en valores absolutos y relativos ($p < 0.001$) (Tabla 2 y 3). Por tanto, hubo una adecuada recuperación entre ambas pruebas.

El mejor modelo para la predicción del $\dot{V}O_2$ máx. ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) fue: $46.763 + (-4.711 \times \text{sexo}) + (-0.52 \times \text{edad}) + (-0.393 \times \text{IMC}) + (0.064 \times \text{distancia}) + (-0.156 \times \text{FCr } 20 \text{ segundos})$.

Donde, el sexo es = 1 para hombres y = 2 para mujeres, la edad en años (con una cifra decimal), el IMC (una cifra decimal), la distancia en metros y la FC de recuperación en $latidos \cdot min^{-1}$. Todas las variables independientes incluidas en la fórmula se relacionaron de manera significativa con el $\dot{V}O_2$ máx. (Tabla 4), de manera que la ecuación obtuvo un valor de $r = 0.83$ ($p < 0.001$) y un $R^2 = 0.69$ (error de estimación = $4.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

La ecuación de predicción presenta validez ya que los supuestos distribucionales se comprobaron, tanto el supuesto de independencia ($p = 0.13$), de normalidad de los residuos ($p = 0.49$) como el de homocedasticidad ($p = 0.64$). Por su parte, el diagrama de Bland-Altman evidenció que no hay diferencias significativas entre el $\dot{V}O_2$ máx. de la PEC y la predicción obtenida por medio de la ecuación ($p = 0.89$) y que solo 7 pares del $\dot{V}O_2$ máx. (5.4%) estuvieron fuera de los límites de concordancia (Fig. 1). La diferencia de medias entre la ecuación y la PEC fue de $0.054 \pm 4.47 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (sesgo medio próximo a cero) con intervalo de confianza del 95% (-0.72; 0.83), por tanto, la estimación del $\dot{V}O_2$ máx. varía entre estos intervalos.

Discusión

El hallazgo más importante de esta investigación es que la FC de recuperación es una variable que predice el

TABLA 2.- Rendimiento en la PC6M y signos vitales en la recuperación

	Total (n = 130)		Hombres (n = 64)		Mujeres (n = 66)		p-valor ^d
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
FC x̄ (latidos/min ⁻¹)	141	19	137	19	146	17	0.01
FC (%)	71.4	9.5	69.2	9.8	73.4	8.8	0.01
FCr 20" (latidos/min ⁻¹)	138	23	133	23	143	22	0.007
FCr (%)	69.7	11.6	67	11.7	72.3	11	0.009
PSE	11	2	11	2	11	2	0.51 ^w
Distancia (m)	675	55	704	51	648	44	< 0.001
Distancia* (m)	675.4	31.1	704.1	11.9	647.6	13.7	< 0.001 ^w
PAS (mmHg)	122	14	130	12	115	11	< 0.001
PAD (mmHg)	74	9	76	9	73	8	0.07
Saturación O ₂ (%)	98.7	0.8	98.7	1	98.8	0.6	0.84 ^w

DE: desviación estándar; FC: frecuencia cardíaca; FCr: frecuencia cardíaca de recuperación en 20 segundos; O₂: oxígeno; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; PSE: percepción subjetiva del esfuerzo; x̄: promedio; * ajustado por IMC y sexo, distancia (m) = $862.173 + (-4.164 \times \text{IMC}) + (-57.542 \times \text{sexo})$ ($R^2 = 0.3$; $p < 0.001$)

^d: diferencias entre hombres y mujeres

^w: Wilcoxon

TABLA 3.— Rendimiento en la prueba de ejercicio cardiopulmonar (PEC)

	Total (n = 130)		Hombres (n = 64)		Mujeres (n = 66)		p-valor ^d
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
FC base (latidos·min ⁻¹)	100	18	97	17	103	18	0.05
FC base (%)	50.6	9.1	49.2	8.7	52.1	9.3	0.07
VO ₂ máx. (ml·kg·min ⁻¹)	40.6	8	45.5	7.1	35.9	5.7	< 0.001
VO ₂ máx. (L·min ⁻¹)	2.7	0.7	3.3	0.5	2.2	0.4	< 0.001
VO ₂ máx.(m·kg·min ⁻¹)*	40.6	5.5	45.5	2.4	35.9	2.8	< 0.001 ^w
VO ₂ máx. (L·min ⁻¹)	2.7	0.6	3.3	0.3	2.2	0.2	<0.001
IR	1.19	0.05	1.2	0.05	1.18	0.06	0.02 ^w
FC (latidos·min-1)	193	8	195	7	192	9	0.06
HR (%)	97.5	4.1	98.3	3.6	96.7	4.3	0.02
PSE	16	2	16	2	16	2	0.87 ^w
Tiempo (min)	10.9	2.5	11.6	1.8	10.3	1.5	< 0.001
Facultad (VO ₂ máx.)	Media	DE	n	%			
Cs. Agrarias y Forestales	36.4	6.6	22	16.9			0.001**
Cs. Básicas	44.2	5.0	2	1.5			
Cs. de la Educación	37.9	8.6	33	25.5			0.005**
Cs. de la Ingeniería	45.7	6.4	20	15.4			
Medicina	41.9	6.5	20	15.4			
Cs. de la Salud	41.6	7.9	31	23.8			
Cs. Sociales y Económicas	47.8	10.7	2	1.5			

Cs: ciencias; DE: desviación estándar; FC: frecuencia cardíaca; PSE: percepción subjetiva del esfuerzo; IR: índice de intercambio respiratorio;

* ajustado por IMC y sexo, VO₂máx. (ml·kg·min⁻¹) = 75.8893+(-0.8519 × IMC)+(-9,8453 × sexo) (R² = 0.46, p < 0.001); **Tukey post hoc, diferencias significativas con la Facultad de Ciencias de la Ingeniería

^d: diferencias entre hombres y mujeres

^w: Wilcoxon

TABLA 4.— Predictores y modelo que explica el VO₂máx

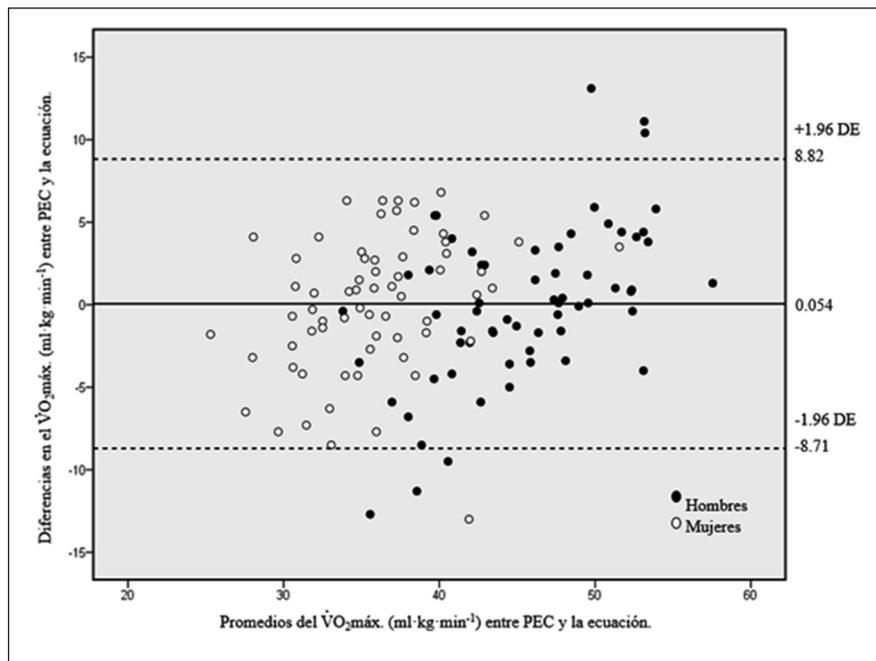
	Coeficientes no estandarizados		t	p-valor	95% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar			Límite inferior	Límite superior
Constante	46.763	9.478	4.934	<0.001	28.004	65.521
Sexo	- 4.711	1.053	- 4.475	<0.001	- 6.795	- 2.627
Edad	- 0.52	0.204	- 2.545	0.01	- 0.924	- 0.116
IMC	- 0.393	0.143	- 2.757	0.007	- 0.675	- 0.111
Distancia	0.064	0.01	6.629	< 0.001	0.045	0.083
FCr	- 0.156	0.02	- 7.957	< 0.001	- 0.195	- 0.117

IMC: índice de masa corporal; FCr: frecuencia cardíaca de recuperación

VO₂máx. Junto a la distancia, son variables que emanan del nivel de esfuerzo en la PC6M por lo que su comportamiento se vincula con la capacidad cardiopulmonar, por lo tanto, es un acierto metodológico para la evaluación con la PC6M. Otro elemento relacionado es la edad de los participantes, puesto que al ser específica del grupo

poblacional evaluado, se asocia a un desarrollo morfo-fisiológico propio de esta etapa cronológica de la vida, por lo que el modelo predictivo no es generalizable a otros grupos etarios ni otros grupos de la población. Es necesario considerar y consignar que, esta investigación es una de las primeras que incursiona involucrando es-

Fig. 1.— Diagrama de Bland-Altman. Concordancia en el $\dot{V}O_2$ máx. entre la prueba de ejercicio cardiopulmonar (PEC) y la ecuación



tudiantes universitarios en Chile respecto a la predicción del $\dot{V}O_2$ máx. a través de una ecuación. En este sentido, hemos propuesto en una investigación previa¹⁸, distinta a la actual, un modelo predictivo para estudiantes universitarios en el que el $\dot{V}O_2$ máx. no fue medido de manera directa, sino que se calculó a través de un test incremental en cicloergómetro, aunque de manera alternativa ha demostrado ser aplicable⁴, y a partir de esto se elaboró una fórmula de estimación. Por tal motivo, la presente investigación se hace pertinente ya que, como se planteó en la metodología, se realizó una medición directa del $\dot{V}O_2$ máx. lo que enriquece el modelo predictivo.

Algunas ecuaciones reportadas por otros estudios incorporan diferentes variables en las fórmulas de estimación. Variables como la edad, el peso corporal, la distancia recorrida en mujeres, además del IMC, la estatura y la FC final en hombres², adultos sanos. A parte de estas variables, se han incorporado la edad y la FC en reposo para hombres y mujeres adultos saludables²⁹, en niños saludables se ha calculado el $\dot{V}O_2$ máx. en base a la distancia y el IMC¹ e inclusive para adultos mayores saludables se ha incorporado la distancia¹⁴, también la edad, el peso corporal, la estatura y la FC³⁰. En la última década se han generado algunas fórmulas para personas con patologías,

en este caso con enfermedad cardíaca, que tuvo como variables independientes el sexo, la distancia, la edad y el IMC³¹, y en niños con obesidad, en que incorpora el IMC y la distancia recorrida³². Lo que informa la literatura sobre los modelos de predicción va en una línea dispar con lo propuesto en nuestro estudio. Por un lado, es poco común encontrar investigaciones con estudiantes universitarios, pues generalmente los estudios se enfocan en grupos que tienen otras ocupaciones u oficios, de otro rango etario y de distintas características de salud. Sin embargo, existe concordancia sobre las variables que se incluyen en las ecuaciones como son la edad, las características corporales como el IMC, características de la propia PC6M como la distancia recorrida, y en algunos casos la FC, como variables independientes que explican el $\dot{V}O_2$ máx.

Aunque la FC se ha informado en pocos estudios como variable de predicción, esta tiene una especial relación con el rendimiento aeróbico, en específico la FC de recuperación tiene una relación inversa con el $\dot{V}O_2$ máx.³³. Esta asociación la hemos encontrado dentro de los primeros 30 segundos de recuperación después de concluir la PC6M, este fenómeno coincide con la existencia una fase rápida del descenso en la FC en la cual predomina el sistema autónomo parasimpático³⁴⁻³⁶. En esta primera fase hemos

encontrado diferencias en la FC de recuperación en 20 segundos entre los hombres y mujeres universitarios evaluados. Después de esta etapa la FC tiene un comportamiento relativamente estable, o fase lenta, en que aumenta la actividad del nervio vago³⁵, aunque la FC ha demostrado no tener diferencias significativas entre hombres y mujeres jóvenes aparentemente sanos³⁷. También en esta segunda etapa hemos corroborado que la relación de la FC con el $\dot{V}O_2$ máx. se pierde de manera paulatina.

Tal utilidad ha tenido la FC de recuperación dentro de los primeros 30 segundos que ha servido, como única variable independiente, para predecir el $\dot{V}O_2$ máx. en algunas pruebas de esfuerzo submáximo en banco ergométrico^{38, 39}. Así, en nuestro estudio la FC de recuperación en 20 segundos explicó en un 19.7% ($p < 0.001$) la varianza del $\dot{V}O_2$ máx., la que también la hemos podido incorporar en un modelo predictivo para estudiantes universitarios¹⁸ y para estudiantes de educación física¹⁷. Este aspecto metodológico se basa en que la FC de recuperación sirve para evaluar la reactivación parasimpática cardíaca⁴⁰ y es un medio de fácil utilización y no invasivo para controlar la respuesta del sistema autónomo⁴¹.

La ventaja que presenta la FC para medir la intensidad en la PC6M es que ésta se realiza después de finalizar la prueba, en la etapa de recuperación, por lo que no se interrumpe el esfuerzo con detenciones innecesarias, ni se pone un foco de atención extra a esa variable, por tanto, es relevante su medición en la fase post-ejercicio, ya que si la FC de recuperación es más rápida en retornar a niveles de reposo, mejor será la capacidad cardiopulmonar⁴². Otro aspecto importante es que la FC ha presentado oscilaciones durante el desarrollo de la PC6M, tendiendo a incrementar a medida que pasan los minutos y se acerca el final de la prueba, de manera que los registros parciales y los valores promedio de la FC durante el test no han demostrado tener una mejor correlación con el $\dot{V}O_2$ máx., la que sí posee la FC de recuperación de 20 segundos en los estudiantes universitarios evaluados. Por el contrario, una investigación ha utilizado la FC al finalizar la PC6M² para predecir el $\dot{V}O_2$ máx., e inclusive la FC se ha medido al inicio y al final,⁴³ pero para predecir la distancia recorrida en la PC6M. Con todo, existe evidencia de la utilidad de la FC en la PC6M para estimar el $\dot{V}O_2$ peak⁴⁴.

Por último, el modelo de predicción en esta investigación fue elaborado con una gran cantidad de sujetos evaluados respecto a otras ecuaciones de estimación, las que han utilizado tamaños muestrales iguales a 81³¹, 97^{5, 32}, 77¹⁴, 75², 120⁴⁵, aunque recientemente se ha determinado con 349 participantes¹. Así, algunas investigaciones indican la necesidad de trabajar con grandes muestras para elaborar ecuaciones de predicción^{30, 46, 47}.

Una posible limitación del presente estudio es haber realizado la PC6M y la PEC en una única sesión, considerando que otras investigaciones incorporan al menos un día de recuperación entre los test, aunque también se ha aplicado la PC6M y un test cardiopulmonar con dos horas de separación en personas con parálisis cerebral⁴⁸. Esta metodología se utiliza generalmente en enfermos, y no necesariamente con individuos universitarios jóvenes aparentemente sanos.

Se concluye que la ecuación elaborada predice el $\dot{V}O_2$ máx. en la PC6M en los estudiantes universitarios hombres y mujeres, a partir de una medición directa en una PEC. Variables independientes como la distancia recorrida y la FC de recuperación están incluidas en el modelo predictivo y derivan del esfuerzo realizado en la PC6M, también otras variables demográficas como el sexo y la edad, y de la adiposidad corporal como el IMC. Se sugiere aplicar la FC de recuperación como un indicador de la capacidad cardiopulmonar, y utilizar la ecuación propuesta para evaluar esta capacidad en estudiantes universitarios considerando diferencias morfo-fisiológicas y geográfico-ambientales.

Conflicto de intereses: Nada que declarar

Bibliografía

1. Jalili M, Nazem F, Sazvar A, Ranjbar K. Prediction of maximal oxygen uptake by six-minute walk test and body mass index in healthy boys. *J Pediatr* 2018; 200: 155-9.
2. Mänttari A, Suni J, Sievänen H, et al. Six-minute walk test: a tool for predicting maximal aerobic power ($\dot{V}O_2$ max) in healthy adults. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018; 38: 1038-45.
3. Fleg JL, Pina IL, Balady GJ, et al. Assessment of functional capacity in clinical and research applications - An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation* 2000; 102: 1591-7.
4. Harmsen WJ, Ribbers GM, Slaman J, et al. The six-minute walk test predicts cardiorespiratory fitness in individuals with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Top Stroke Rehabil* 2016; 24: 250-5.
5. Maldonado-Martin S, Brubaker PH, Kaminsky LA, Moore JB, Stewart KP, Kitzman DW. The relationship of 6-min walk to $\dot{V}O_2$ peak and VT in older heart failure patients. *Med Sci Sport Exer* 2006; 38: 1047-53.
6. Guyatt GH, Thompson PJ, Berman LB, et al. How should we measure function in patients with chronic heart and lung disease? *J Chronic Dis* 1985; 38: 517-24.
7. Guyatt GH, Sullivan MJ, Thompson PJ, et al. The 6-minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Can Med Assoc J* 1985; 132: 919-23.
8. Tueller C, Kern L, Azzola A, et al. Six-minute walk test

- enhanced by mobile telemetric cardiopulmonary monitoring. *Respiration* 2010; 80: 410-8.
9. Oudiz R, Barst R, Hansen J, et al. Cardiopulmonary exercise testing and six-minute walk correlations in pulmonary arterial hypertension. *Am J Cardiol* 2006; 97: 123-6.
 10. Zapico A, Fuentes D, Rojo-Tirado M, Calderon F, Rosenzweig E, Garofano R. Predicting peak oxygen uptake from the 6-minute walk test in patients with pulmonary hypertension. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2016; 36: 203-8.
 11. Pang M, Eng J, Dawson A. Relationship between ambulatory capacity and cardiorespiratory fitness in chronic stroke - Influence of stroke-specific impairments. *Chest* 2005; 127: 495-501.
 12. Limsuwan A, Wongwandee R, Khowsathit P. Correlation between 6-min walk test and exercise stress test in healthy children. *Acta Paediatr* 2010; 99: 438-41.
 13. Andersson E, Nilsson J. Can a six-minute shuttle walk test predict maximal oxygen uptake? *Gazz Med Ital* 2011; 170: 163-70.
 14. Hill K, Wickerson LM, Woon LJ, et al. The 6-min walk test: responses in healthy Canadians aged 45 to 85 years. *Appl Physiol Nutr Metab* 2011; 36: 643-9.
 15. Andersson E, Lundahl G, Wecke L, Lindblom I, Nilsson J. Maximal aerobic power versus performance in two aerobic endurance tests among young and old adults. *Gerontology* 2011; 57: 502-12.
 16. Ma M, Lin Q, Qin H. Correlation between 6-minute walking test and oxygen uptake. *Chinese J Tissue Eng Res* 2009; 13: 9909-12.
 17. Vásquez-Gómez J, Castillo-Retamal M, Ramírez-Campillo R. A. Six-minute walking test: maximum oxygen consumption in physical education students. *J Phys Educ* 2018; 29: e2919.
 18. Vásquez-Gómez J, Castillo-Retamal M, Faundez-Casanova C, Souza de Carvalho R, Ramírez-Campillo R, Valdés-Badilla P. Ecuación para predecir el consumo máximo de oxígeno a partir de la prueba de caminata de seis minutos en jóvenes sanos. *Rev Med Chil* 2018; 146: 830-8.
 19. Ledo-Varela MT, de Luis Román DA, González-Sagrado M, Izaola Jauregui O, Conde Vicente R, Aller de la Fuente R. Características nutricionales y estilo de vida en universitarios. *Nutr Hosp* 2011; 26: 814-8.
 20. Rangel Caballero LG, Rojas Sánchez LZ, Gamboa Delgado EM. Sobrepeso y obesidad en estudiantes universitarios colombianos y su asociación con la actividad física. *Nutr Hosp* 2017; 31: 629-36.
 21. Tellería-Aramburu N, Sánchez C, Ansotegui L, Rocandio AM, Arroyo-Izaga M. Influencia de la práctica físico-deportiva sobre indicadores antropométricos y la satisfacción con el peso en hombres estudiantes universitarios: estudio piloto. *Nutr Hosp* 2015; 31: 1225-31.
 22. Gutiérrez Clavería M, Beroiza WT, Cartagena SC, et al. Prueba de caminata de seis minutos. *Rev Chil Enf Respir* 2009; 25: 15-24.
 23. Borg GAV, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports* 2006; 16: 57-69.
 24. Hamlin M, Draper N, Blackwell G, Shearman J, Kimber K. Determination of maximal oxygen uptake using the Bruce or a novel athlete-led protocol in a mixed population. *J Hum Kinet* 2012; 31: 97-104.
 25. Web C, Vehrs P, George J, Hager R. Estimating $\dot{V}O_{2\max}$ using a personalized step test. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2014; 18: 184-97.
 26. Spackman M, George J, Pennington T, Fellingham G. Maximal graded exercise test protocol preferences of relatively fit college students. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2001; 5: 1-12.
 27. Laurent C, Meyers M, Robinson C, Strong L, Chase C, Goodwind B. Validity of the VmaxST portable metabolic measurement system. *J Sports Sci* 2008; 26: 709-16.
 28. Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2\max}$: $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ is no longer acceptable. *J Appl Physiol* 2017; 122: 997-1002.
 29. Burr JF, Bredin SS, Faktor MD, Warburton DE. The 6-minute walk test as a predictor of objectively measured aerobic fitness in healthy working-aged adults. *Phys Sports Med* 2011; 39: 133-9.
 30. Kervio G, Carre F, Ville NS. Reliability and intensity of the six-minute walk test in healthy elderly subjects. *Med Sci Sport Exer* 2003; 35: 169-74.
 31. Costa HS, Lima MMO, Alencar MCN, et al. Prediction of peak oxygen uptake in patients with Chagas heart disease: Value of the Six-minute Walk Test. *Int J Cardiol* 2017; 228: 385-7.
 32. Vanhelst J, Fardy PS, Salleron J, Beghin L. The six-minute walk test in obese youth: reproducibility, validity, and prediction equation to assess aerobic power. *Disabil Rehabil* 2013; 35: 479-82.
 33. Dimkpa, U. Post-exercise heart rate recovery: an index of cardiovascular fitness. *J Exerc Physiol Online* 2009; 12: 10-22.
 34. Borresen J, Lambert M. Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sport Med* 2008; 38: 633-46.
 35. Coote J. Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Exp Physiol* 2010; 95: 431-40.
 36. Peçanha T, Silva-Júnior D, Forjaz C. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. *Clin Physiol Funct Imaging* 2014; 35: 327-39.
 37. Dimkpa U, Ezeike CC, Maduka SO, et al. Sex differences in heart rate responses to sub-maximal exercise in young adults. *Comp Exerc Physiol* 2015; 11: 9-16.
 38. 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.
 39. Chatterjee S, Chatterjee P, Bandyopadhyay A. Validity of Queen's College Step Test for estimation of maximum oxygen uptake in female students. *Indian J Med Res* 2005; 121: 32-5.
 40. Dupuy O, Mekary S, Berryman N, Bherer L, Audiffren M, Bosquet L. Reliability of heart rate measures used to assess post-exercise parasympathetic reactivation. *Clin Physiol Funct Imaging* 2012; 32: 296-304.
 41. Lamberts R, Swart J, Noakes T, Lambert M. Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2009; 105: 705-13.
 42. Chen SM, Wang JS, Lee WC, et al. Validity of the 3 min step test in moderate altitude: environmental temperature

- as a confounder. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006; 31: 726-30.
43. Zou H, Zhang J, Chen X, et al. Reference equations for the six-minute walk distance in the healthy Chinese han population, aged 18-30 years. *BMC Pulm Med* 2017; 17: e119.
 44. Ross R, Murthy J, Wollak I, Jackson A. The six minute walk test accurately estimates mean peak oxygen uptake. *BMC Pulm Med* 2010; 10: e31.
 45. Ingle L, Goode K, Rigby ASR, Cleland JGF, Clark AL. Predicting peak oxygen uptake from 6-min walk test performance in male patients with left ventricular systolic dysfunction. *Eur J Heart Fail* 2006; 8: 198-202.
 46. Tseng BY, Kluding P. The relationship between fatigue, aerobic fitness, and motor control in people with chronic stroke: a pilot study. *J Geriatr Phys Ther* 2009; 32: 97-102.
 47. Doutreleau SDMP, Talha S, Charloux A, Piquard F, Geny B. Can the six-minute walk test predict peak oxygen uptake in men with heart transplant? *Arch Phys Med Rehabil* 2009; 90: 51-7.
 48. Slaman J, Dallmeijer A, Stam H, et al. The six-minute walk test cannot predict peak cardiopulmonary fitness in ambulatory adolescents and young adults with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil* 2013; 94: 2227-33.

LA TAPA

Fritz Gehrke (1855-1916). Caballos en la fábrica de sueros Behring

Die Gewinnung des Diphtherieserums aus Pferdeblut im Behringwerk zu Marburg. (Obteniendo el suero diftérico [anti-diftérico] de sangre de caballo en la fábrica de Behring en Marburgo); *circa* 1905. Fuente: U.S. National Library of Medicine. Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gehrke_behring.jpg

Fritz Ferdinand Gehrke fue un pintor, ilustrador y caricaturista alemán, nacido en 1855 en Woistenthin, un pueblo pequeño de Pomerania (ahora Polonia), murió en Berlín en 1916.

La seroterapia, usar suero con los anticuerpos producidos por un organismo inmunizado contra una bacteria o virus para transmitir la inmunidad a otro organismo, inmunidad pasiva, nació en el Instituto Pasteur en París y en el Instituto Koch en Berlín. Diferían en sus doctrinas, unos eran “celularistas”, los otros “humoralistas”, los resultados prácticos fueron iguales. F.A.J Loeffler (1852-1915) identificó la bacteria causante de la difteria en 1884; E. Roux (1853-1933) y A. Yersin (1863-1943) demostraron que el bacilo de Loeffler debía su acción patógena a una toxina que aislaron en 1888; en 1890 E. Behring (1854-1917) y S. Kitasato (1852-1931) idearon un método para inmunizar conejos a la toxina tetánica y diftérica, luego inmunizaron a caballos, los grandes productores de suero. P. Ehrlich (1854-1915) colaboró con Behring y se relacionaron con la firma Hoeschst para la producción industrial de sueros; Ehrlich estandarizó una técnica para controlar la potencia de una antitoxina. Al tiempo, la conexión de Ehrlich con Hoeschst y la amistad entre Ehrlich y Behring se terminaron. La sociedad de Behring con Hoeschst fue provechosa, la fábrica de sueros en Marburgo un éxito comercial. Behring se hizo rico, ennoblecido por Prusia agregó el von a su apellido y recibió el primer Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1901. Años después recibieron el mismo premio R. Koch, P. Ehrlich, J. Bordet y Ch. R. Richet por sus contribuciones a la bacteriología y la inmunidad. En el funeral de Ehrlich, el ya achacoso Behring dijo: “Ahora descansas, querido amigo, siempre tuviste un alma sensible y si te herimos, perdónanos”*. Simon J. Emil Behring's Medical Culture: From Disinfection to Serotherapy. *Medical History* 2007, 51: 201-18; Kasten FH. Paul Ehrlich: Pathfinder in Cell Biology. 1. Chronicle of His Life and Accomplishments in Immunology, Cancer Research, and Chemotherapy. *Biotech Histochem* 1996; 71: 2-37; Silverstein AM. Paul Ehrlich's Receptor Immunology: The Magnificent Obsession. San Diego; Academic Press, 2002. *p 50-1