

Un modelo para predecir el consumo de oxígeno según signos vitales y hábitos de vida en estudiantes universitarios

JAIME VÁSQUEZ-GÓMEZ^{1,3,4,5}, RICARDO SOUZA DE CARVALHO^{2,3,5},
CESAR FAUNDEZ-CASANOVA^{2,3,5}, MARCELO CASTILLO-
RETAMAL^{2,3,5}, FRANKLIN CASTILLO-RETAMAL^{2,3,5}

A model to predict maximal oxygen uptake using vital signs and lifestyles in university students

Background: Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) is measured using maximal and submaximal exercise tests or can be predicted using demographic variables, body adiposity, vital signs and lifestyles. **Aim:** To elaborate an equation to predict the $\dot{V}O_{2max}$ in the absence of cardiopulmonary test in university students. **Material and Methods:** $\dot{V}O_{2max}$ was measured directly using a cardiopulmonary test on a treadmill in 121 students aged 22 ± 2 years (59 males). Data about drug and medication use, physical activity [PA], vital signs at rest, and basic anthropometry were collected. The independent variables were included in a multivariate equation and the validity of the model was checked through distribution assumptions and according to the concordance limits of the Bland-Altman diagram. **Results:** The best predictive equation for $\dot{V}O_{2max}$ incorporated sex, age, body mass index, blood pressure, heart rate, smoking habits and PA as independent variables. The distributional assumptions were fulfilled ($p > 0.05$), there were no differences between the equation and the measurement of $\dot{V}O_{2max}$ ($p = 0.854$) with a bias of $-0.08 \text{ ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ (95% confidence intervals $[-0.95; 0.78]$). **Conclusions:** The resulting equation predicts $\dot{V}O_{2max}$ based on body adiposity, physiological parameters and life habits.

(Rev Med Chile 2019; 147: 1437-1442)

Key words: Exercise Test; Oxygen Consumption; Students.

La forma más precisa para evaluar la capacidad cardiorrespiratoria es a través de un test con medición directa del $\dot{V}O_{2max}$, sin embargo, implica un alto costo económico y a su vez de tiempo para evaluar a gran cantidad de personas. Otra forma es predecirlo con ecuaciones en test de esfuerzo submáximo, y una alternativa viable es evaluar el $\dot{V}O_{2max}$ en base a la no realización de ejercicio físico¹. Algunos estudios han reportado este método considerando variables demográficas, de adiposidad corporal y el nivel de actividad física (AF)² para la predicción del

$\dot{V}O_{2max}$, inclusive esta metodología se ha utilizado en un estudio epidemiológico³ y se ha considerado adecuado para investigaciones poblacionales⁴. La población universitaria es susceptible a cambios en sus hábitos de vida en los aspectos sociales, culturales y fisiológicos⁵, entre estos hábitos, pasan de una mayor a una menor práctica de AF desde la etapa escolar hacia la vida universitaria⁶, por lo que se hace pertinente evaluar el $\dot{V}O_{2max}$ a través de métodos no invasivos, y, a la vez, promover investigaciones sobre esta metodología que puede ser precursora en el con-

¹Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

²Departamento de Ciencias de la Actividad Física, Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

³Laboratorio de Rendimiento Humano, Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

⁴Centro de Investigación en Estudios Avanzados del Maule (CIEAM). Talca, Chile.

⁵Grupo de Estudios en Educación, Actividad Física y Salud (GEEAFys).

Trabajo no recibió financiamiento. Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Recibido el 2 de mayo de 2019, aceptado el 21 de agosto de 2019.

Correspondencia a:

Marcelo Castillo-Retamal
Universidad Católica del Maule,
Campus San Miguel, Avenida San Miguel n° 3605. Talca, Chile.
CP: 3460000
mcastillo@ucm.cl

texto chileno. A partir de aquello, el objetivo fue elaborar un modelo de predicción del $\dot{V}O_2$ máx. en ausencia de test cardiopulmonar para estudiantes universitarios de ambos sexos.

Material y Método

Se invitó a 150 estudiantes y 15 rechazaron aproximadamente, 4 desistieron y finalmente participaron 131 estudiantes universitarios de ambos sexos de diversas carreras (excepto de Educación Física para evitar sesgos sobre la condición física). Los participantes firmaron un consentimiento por escrito (Comité de Ética Científico de la Universidad Católica del Maule, Talca, Chile [17/2018]). Para conocer algunos hábitos de vida de los estudiantes, se preguntó sobre consumo de medicamentos, alcohol, tabaco, y frecuencia de AF. Para los tres primeros la respuesta fue “sí” o “no” y eventualmente el nombre/tipo de sustancia, salvo para el tabaco, reportadas en el último mes. Para la AF se preguntó la frecuencia semanal en el último mes⁷. También se midió la presión arterial sistólica, diastólica, y la frecuencia cardíaca (FC) de reposo (monitor OMRON modelo BP760 serie 7, Japón), la saturación de oxígeno (oxímetro Carewell modelo F1, China), el peso corporal y estatura en una báscula mecánica con estadímetro (DETECTO modelo 3P7044 capacidad 140 kg, EE.UU.). Posteriormente se determinó la capacidad cardiopulmonar con la prueba de Bruce en donde los participantes dieron su máximo esfuerzo hasta la fatiga física, vale decir, esta prueba fue de intensidad creciente en base a la velocidad e inclinación, para lo cual se utilizó una cinta rodante motorizada (3,3 kW) con capacidad máxima de 200 kg, modelo h/p/cosmos mercury® (Alemania). Para medir variables cardiopulmonares se utilizó un ergoespirómetro modelo MetaLyzer® 3B marca CORTEX (Alemania), las que fueron controladas respiración a respiración con el software MetaSoft®Studio. Para determinar el $\dot{V}O_2$ máx. se debió alcanzar un índice de intercambio respiratorio (IR) $\geq 1,11$ ^{8,9}, una FC ≤ 10 p·min⁻¹ o un $\leq 5\%$ respecto a la máxima estimada según la edad (220-edad)¹⁰. Al finalizar el test se les preguntó a los estudiantes la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE).

Para el análisis se eliminó 10 casos por no cumplir con la maximalidad del test (n = 121).

Para determinar diferencias entre ambos sexos se aplicó la prueba t-Student para muestras independientes o el test U de Mann-Whitney, según distribución normal. Las variables independientes que se correlacionaron de manera significativa con el $\dot{V}O_2$ máx. se incluyeron en una regresión multivariada. La validez de la ecuación se comprobó con los supuestos distribucionales de normalidad (corrección de Lilliefors), independencia (Durbin-Watson) y homocedasticidad (Breusch-Pagan), y finalmente se verificó la concordancia entre la medición del $\dot{V}O_2$ máx. y la ecuación con el diagrama de Bland-Altman incluyendo rangos de confiabilidad de $\pm 1,96$. Se utilizó el programa SPSS® versión 20 (IBM, EE.UU.) y se asumió una significación estadística con un p-valor $< 0,05$.

Resultados

Existieron diferencias en la antropometría básica, en algunos signos vitales y en la capacidad cardiopulmonar, que generalmente fueron mayores en los hombres (Tabla 1). Entre los medicamentos más consumidos se encontró anticonceptivos como Anulette (8,1%), Poem y Tinelle (4,8% c/u) en las mujeres, como así en los hombres Enalapril, Eutirox, con prevalencia de 1,7% cada uno.

El mejor modelo que predijo el $\dot{V}O_2$ máx. (ml·kg·min⁻¹) fue: $63,172 + (\text{sexo} \times 7,613) + (\text{edad} \times -0,478) + (\text{IMC} \times -0,728) + (\text{PASr} \times 0,125) + (\text{PADr} \times -0,127) + (\text{FCr} \times -0,094) + (\text{tabaco} \times 3,139) + (\text{AF} \times 1,465)$ ($r = 0,803$; $p < 0,001$).

Donde el sexo fue 0 para mujer y 1 para hombre, la edad en años con un decimal, la presión arterial de reposo en mmHg, FC de reposo en p·min⁻¹, consumo de tabaco fue 0 = “no” y 1 = “sí”, y AF es la frecuencia de práctica semanal (Tabla 2).

La ecuación fue válida ya que se cumplió el supuesto de homocedasticidad ($p = 0,056$), de independencia ($p = 0,476$) y de normalidad ($p = 0,247$). El diagrama de Bland-Altman demostró que 7 pares (5,7%) del $\dot{V}O_2$ máx. estuvieron fuera de los límites de acuerdo y que no hubo diferencias significativas entre la medición y la predicción del $\dot{V}O_2$ máx. ($p = 0,854$) (Figura 1) con un sesgo de $-0,08$ ml·kg·min⁻¹ (95% IC [-0,95; 0,78]).

Tabla 1. Antropometría básica, signos vitales, capacidad cardiopulmonar y hábitos de vida

Variables	Total (n = 121)		Hombres (n = 59)		Mujeres (n = 62)		p-valor ^a
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
Edad (años)	21,8	2,1	22,1	2,5	21,5	1,5	0,166 ^b
Peso (kg)	66,4	11	72,3	9,2	60,7	9,6	< 0,001 ^b
Estatura (m)	1,66	0,09	1,73	0,06	1,6	0,06	< 0,001 ^b
IMC (kg·m ⁻²)	24	3,2	24,3	2,9	23,8	3,4	0,415 ^b
PAS reposo (mmHg)	117	14	124	12	109	12	< 0,001 ^b
PAD reposo (mmHg)	72	10	72	9	71	10	0,486 ^b
FC reposo (pm)	76	12	72	10	80	12	< 0,001 ^b
Saturación O ₂ reposo (%)	98,5	2	98,7	0,7	98,3	2,6	0,622 ^c
AF (días/semana)	1,9	1,6	2,1	1,6	1,9	1,7	0,432 ^c
VO ₂ máx. (ml·kg·min ⁻¹)	40,6	8,1	45,6	7,3	35,8	5,7	< 0,001 ^b
VO ₂ máx. (L·min ⁻¹)	2,7	0,7	3,3	0,5	2,2	0,4	< 0,001 ^b
FC (p·min ⁻¹)	194	8	195	7	192	9	0,042 ^b
FC (%)	97,6	4,1	98,6	3,6	96,8	4,4	0,016 ^b
IR	1,18	0,05	1,2	0,05	1,17	0,06	0,004 ^c
PSE	16	2	16	2	16	2	0,945 ^c
	n	%	n	%	n	%	
Medicamentos (si)	44	36,4	9	15,3	35	56,5	
Tabaco (si)	16	13,2	8	13,6	8	12,9	
Alcohol (si)	49	40,5	20	33,9	29	46,8	
AF (si)	95	78,5	46	78	49	79	

AF: actividad física; ^adiferencias entre hombres y mujeres; ^bt-Student; ^cU de Mann-Whitney; DE: desviación estándar; IMC: índice de masa corporal; IR: índice de intercambio respiratorio; FC: frecuencia cardíaca; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; PSE: percepción subjetiva del esfuerzo.

Tabla 2. 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	63,172	6,581	9,599	< 0,001	50,132	76,212
Sexo	7,613	1,236	6,161	< 0,001	5,165	10,061
Edad	-0,478	0,238	-2,009	0,047	-0,949	-0,007
IMC	-0,728	0,157	-4,626	< 0,001	-1,040	-0,416
PAS	0,125	0,052	2,410	0,018	0,022	0,227
PAD	-0,127	0,065	-1,954	0,053	-0,257	0,002
FC reposo	-0,094	0,045	-2,114	0,037	-0,183	-0,006
Tabaco	3,139	1,378	2,278	0,025	0,409	5,870
AF	1,465	0,283	5,181	< 0,001	0,905	2,025

IMC: índice de masa corporal; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica; FC: frecuencia cardíaca; AF: actividad física.

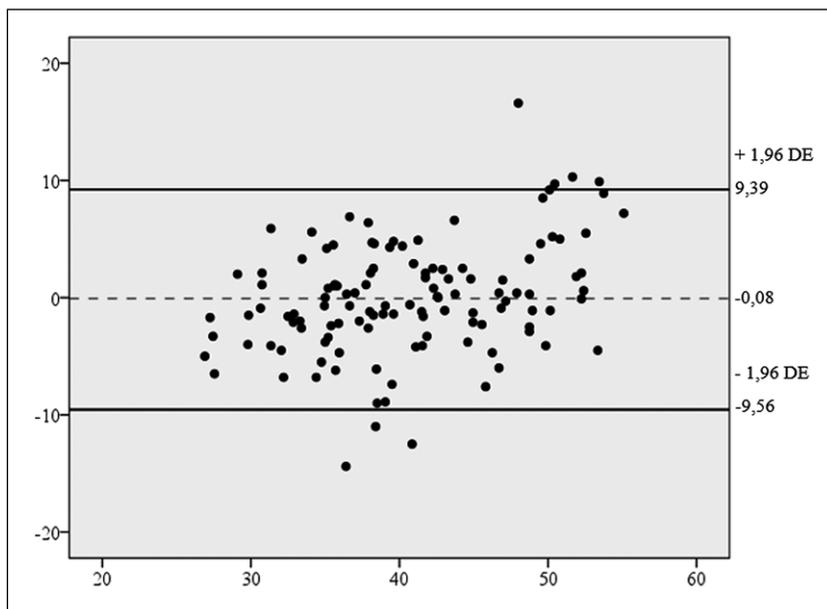


Figura 1. Diagrama de Bland-Altman. Concordancia para el VO₂máx. entre el test cardiopulmonar y la ecuación. **Eje X.** Promedios del VO₂máx. entre el test cardiopulmonar y la ecuación (ml·kg·min⁻¹). **Eje Y.** Diferencias en el VO₂máx. entre el test cardiopulmonar y la ecuación (ml·kg·min⁻¹).

Discusión

El principal resultado de esta investigación es que la FC en reposo y los valores de presión arterial explican la variabilidad de la capacidad cardiopulmonar de los universitarios evaluados, y, a la vez, que el hábito tabáquico, es decir, fumar o no, también la condiciona.

Un aspecto innovador de este estudio es que se hace una extrapolación desde mediciones de carácter rutinario (FC, presión arterial, IMC, AF, etc.) hacia el $\dot{V}O_2$ máx., variable importante considerando que el riesgo de morbi-mortalidad a causa de enfermedades crónicas tiene asociación con una baja capacidad cardiorrespiratoria¹¹. También tiene un valor agregado cuando se trata de evaluar a una gran cantidad de personas en términos del tiempo utilizado y recursos materiales como un gimnasio o pista atlética, etc. Por tanto, la utilidad práctica radica en brindar una herramienta de fácil acceso e implementación para los profesionales de la AF y salud.

Los modelos predictivos que se han planteado para predecir el $\dot{V}O_2$ máx. sin la realización de ejercicio físico o test cardiopulmonar, incluyen variables como el peso corporal, estatura¹²⁻¹⁴ y edad¹²⁻¹⁶. También se ha incluido el porcentaje de grasa^{15,17}, la AF¹⁵⁻¹⁷, AF de tiempo libre¹⁷ y el

IMC^{15,16,18}. La ecuación planteada en nuestra investigación tiene variables que coinciden con las reportadas en la literatura como son la edad, sexo, AF, IMC, y que son las más utilizadas en los modelos predictivos en las últimas décadas, junto al tabaquismo, variables asociadas a adiposidad corporal y anatómicas¹¹.

Otros estudios han incorporado la percepción de la habilidad funcional¹⁶, el ser activo físicamente o ser sedentario¹², las horas de entrenamiento semanal, intensidad del entrenamiento vía PSE y años de práctica^{13,14}. Así, esta investigación incorpora variables que responden a las características de los estudiantes universitarios, que son personas jóvenes aparentemente sanas, al considerar variables morfo-fisiológicas y de los hábitos de vida. Tal es la relevancia de los objetivos de los investigadores y del contexto, que inclusive se ha planteado que redes neuronales pueden predecir el $\dot{V}O_2$ máx.¹⁹ y que este se ha correlacionado significativamente con la función cognitiva y el volumen del hipocampo en adultos mayores²⁰.

Respecto a variables demográficas de las personas que han sido evaluadas para elaborar los modelos predictivos, según Neto et al.¹¹, en la mayoría de las investigaciones han participado mujeres y hombres, el rango etario ha sido entre 6 y 79 años, fluctuando la muestra entre 31 y cerca

de las 1.400 personas. Sobre el tipo de población, algunos estudios de la última década han investigado en personas con patologías¹⁷, en estudiantes¹⁸ y en personas de diversas características en base a datos provenientes de centros de salud¹². La investigación que hemos realizado va en una línea similar en los aspectos demográficos descritos, en una muestra de la población específica como son los estudiantes universitarios, y aporta variables de predicción que son un aspecto metodológico novedoso (FC y presión arterial).

Una limitante del estudio es que el muestreo no se realizó de manera probabilística, pero a la vez esto se plantea como una proyección de la investigación para realizar un muestreo aleatorizado y así homogenizar los resultados a poblaciones de estudiantes universitarios en nuestro contexto.

Se concluye que la ecuación propuesta predice el $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ en los universitarios de ambos sexos, basada en sus características corporales, fisiológicas y de hábitos de vida, por tanto, es aplicable solo en ellos, y su utilización debe tomarse con precaución. La aplicación de esta metodología puede recomendarse para evaluar a personas en condición clínica como una alternativa a los test de esfuerzo físico los cuales podrían ser contraproducentes, aunque el test cardiopulmonar ofrece variada información más allá del $\dot{V}O_2$, respecto a funcionalidad general, cardíaca, etc.

Agradecimientos: Los investigadores agradecen a los estudiantes universitarios que tuvieron la disposición de participar desinteresadamente en esta investigación.

Referencias

1. Maranhao Neto GA, Oliveira AJ, Pedreiro R, Marques Neto S, Luz LG, Silva HC, et al. Prediction of cardiorespiratory fitness from self-reported data in elderly. *Rev Bras Cineantropom Hum* 2017; 19 (5): 545-53.
2. Jackson AS, Blair SN, Mahar MT, Wier LT, Ross RM, Stuteville JE. Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22 (6): 863-70.
3. Cardinal BJ. Predicting cardiorespiratory fitness without exercise testing in epidemiologic studies: a concurrent validity study. *J Epidemiol* 1996; 6 (1): 31-5.
4. Ramírez R, Agredo RA, Ortega JG, Dosman VA, López CA. Análisis comparativo del $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ estimado mediante las ecuaciones desarrolladas por Jackson et al y el American College of Sport Medicine en corredores de maratón. *Apunts Med Esport* 2009; 44 (162): 57-65.
5. 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 (4): 814-8.
6. Espinoza OL, Rodríguez RF, Gálvez CJ, MacMillan KN. Hábitos de alimentación y actividad física en estudiantes universitarios. *Rev Chil Nutr* 2011; 38 (4): 458-65.
7. Ministerio del Deporte [Internet]. Santiago: Encuesta nacional de hábitos de actividad física y deportes en la población de 18 años y más; c2016 [citado 2018 marzo 15]. Disponible en: http://www.mindep.cl/wp-content/uploads/2016/07/INFORME-FINAL-ENCUESTA-DE-PORTES-COMPLETO_.pdf
8. 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.
9. Web C, Vehrs P, George J, Hager R. Estimating $\dot{V}O_{2\text{max}}$ using a personalized step test. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2014; 18: 184-97.
10. Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2\text{max}}$: $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ is no longer acceptable. *J Appl Physiol* 2017; 122 (4): 997-1002.
11. Neto M, de Albuquerque G, Lourenço PMC, Farinatti PDTV. Prediction of aerobic fitness without stress testing and applicability to epidemiological studies: a systematic review. *Cad Saude Pública* 2004; 20 (1): 48-56.
12. Cáceres JMS, Ulbrich AZ, Panigas TF, Benetti M. Equações de predição da aptidão cardiorrespiratória de adultos sem teste de exercícios físicos. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2012; 14 (3): 287-95.
13. Malek MH, Housh TJ, Berger DE, Coburn JW, Beck TW. A new nonexercise-based $\dot{V}O_{2\text{max}}$ equation for aerobically trained females. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36 (10): 1804-10.
14. Malek MH, Housh TJ, Berger DE, Coburn JW, Beck TW. A new non-exercise-based $\dot{V}O_{2\text{max}}$ prediction equation for aerobically trained men. *J Strength Cond Res* 2005; 19 (3): 559-65.
15. Wier LT, Jackson AS, Ayers GW, Arenare B. Waist girth as a surrogate for body composition in the non-exercise model for estimating $\dot{V}O_{2\text{max}}$. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36 (5): S89.
16. Bradshaw DI, George JD, Hyde A, LaMonte MJ, Vehrs PR, Hager RL, et al. An accurate $\dot{V}O_{2\text{max}}$ non-exercise regression model for 18-65-year-old adults. *Res Q Exerc Sport* 2005; 76 (4): 426-32.
17. Sullivan K, Shikuma CM, Chow D, Cornelius E, Ro-

- mine RK, Lindsey RA, et al. Aerobic fitness levels and validation of a non-exercise VO_{2max} prediction equation for HIV-infected patients on HAART. *HIV Clin Trials* 2014; 15 (2): 69-77.
18. Kalyanshetti SB, Veluru S. A cross-sectional study of association of body mass index and VO_{2max} by nonexercise test in medical students. *Natl J Physiol Pharm Pharmacol* 2017; 7 (2): 228-31.
 19. Henriques J, Carvalho P, Rocha T, Paredes S, Cabiddu R, Trimer R, et al. editors. A non-exercise based VO_{2max} prediction using FRIEND dataset with a neural network. 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS); 2017 Jul 13-15; Seogwipo, Korea Del Sur. IEEE; 2017.
 20. McAuley E, Szabo AN, Mailey EL, Erickson KI, Voss M, White SM. Non-exercise estimated cardiorespiratory fitness: associations with brain structure, cognition, and memory complaints in older adults. *Ment Health Phys Act* 2011; 4 (1): 5-11.