

Monograph

Estimación del VO_2 máx. a partir de un Protocolo Submáximo e Individualizado en Bicicleta Ergométrica

Robert A Robergs², Len Kravitz² y Cengiz Akalan¹

¹School of Physical Education and Sports, Ankara University, Ankara, Turquía.

²Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Universidad de Nuevo México, Albuquerque NM, Estados Unidos.

RESUMEN

Presumimos que una gran proporción del error de estimación del VO_2 máx. proviene de las diferencias individuales en la respuesta de la frecuencia cardíaca al ejercicio submáximo, y que si estas diferencias pudiesen disminuir, aumentaría la exactitud en la estimación del VO_2 máx. Ochenta (43 varones, 37 mujeres) voluntarios sanos, sedentarios a altamente entrenados, completaron como primer medida un autoinforme de evaluación de la actividad física (Lo-Par), y luego realizaron el protocolo YMCA modificado con etapas de 4 minutos, y un segundo test submáximo que implicaba un protocolo submáximo en rampa individualizado que fue finalizado al 80% de su frecuencia cardíaca máxima estimada por la edad en la bicicleta ergométrica. Se registraron los datos de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio y a los cinco minutos de la recuperación. Para valorar el VO_2 máx. real se utilizó un protocolo en rampa en bicicleta ergométrica con análisis de gases expirados. El análisis de regresión múltiple produjo un modelo dando por resultado una $r^2=0,867$ y un error estándar de estimación (SEE)= $4.23 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, con la siguiente ecuación de estimación: VO_2 máx. ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)= $46,103 + (-0,353*\text{Peso Corporal}) + (0,683*\text{Watts}\cdot\text{min}^{-1}) + (-5,995*\text{Género}) + (0,165*\text{Delta de la frecuencia cardiaca de recuperación}) + (2,816*\text{K no lineal de la frecuencia cardiaca de recuperación}) + (0,0138*\text{Nivel de jercicio del Lo-PAR}) + 4,234$. La prueba estadística t no mostró diferencias significativas entre el VO_2 máx. medido y estimado. Las diferencias medias del VO_2 máx. medido y estimado a través de las pruebas físicas del YMCA, ACSM, y el Nomograma Astrand-Ryhming fueron significativas. Sin embargo, la nueva ecuación no disminuye el error de estimación en el grado que se planteó como hipótesis.

Palabras Clave: regresión múltiple, aptitud física, ejercicio

INTRODUCCION

La evaluación del índice máximo del consumo de oxígeno de todo el cuerpo durante el ejercicio (VO_2 máx.) tiene una historia que data desde el trabajo pionero de A.V. Hill en los años 20.

Tradicionalmente, el VO_2 max se ha interpretado como la medida de la capacidad máxima del sistema cardiorrespiratorio para obtener oxígeno, hacerlo circular hacia los músculos que trabajan, donde el músculo puede extraerlo y utilizarlo en la

respiración mitocondrial para cubrir las necesidades energéticas para la contracción muscular. La medición del VO_2max ha sido por lo tanto muy valiosa en la cuantificación de la aptitud física de resistencia y la condición de los sistemas cardiorrespiratorio y muscular, para todos los individuos, incluyendo atletas, sedentarios y enfermos.

En la medida en que el VO_2 máx. requiera de equipamiento costoso, y demande a los individuos ejercitarse hasta la fatiga volitiva, no será adecuado su uso cuando se evalúe a un gran número de individuos, o cuando los individuos pudieran estar expuestos a un riesgo inaceptable para la salud al ejercitarse hasta el esfuerzo máximo. Por lo tanto, numerosos procedimientos han sido investigados y validados para estimar el VO_2max a partir de ejercicios submáximos o procedimientos que no implican al ejercicio en absoluto (Tabla 1-3).

Tipo	Estudio	N	Edades	Sexo/Salud	Variables de Estimación	r	SEE
Cinta rodante	ACSM (Caminata) ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	-	-	M, F Sanos	Pendiente, tiempo	-	-
	ACSM (carrera) ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	-	-	M, F Sanos	Pendiente, tiempo	-	-
	Ebbeling ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	67	20-59	M	Velocidad de caminata, edad, FC, sexo	0,96	5,0
		72		F	Velocidad de caminata, edad, FC, sexo		
	Widrick ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	145	20-59	M Sanos	Peso, edad, sexo, tiempo, FC	0,91	5,26
	Wilmore ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	42	18-30	M Sanos	Peso, edad, sexo, tiempo, FC	0,76	5,0
	Bruce (Maximo) ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	44	-	M Activos	Tiempo	0,906	-
		94	-	M Sedentarios	3,298 (tiempo) + 4,07	0,906	-
		97	-	M Cardíacos	2,327 (tiempo) + 9,48	0,865	-
		295	-	M, F Sanos	Sexo, tiempo	0,920	-
	Foster (Maximo) ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	230	-	M Variado	Tiempo 1, tiempo 2, tiempo 3	0,977	3,35
	Froelicher (Maximo) ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	1,025	20-53	M, Sanos	Tiempo	0,72	4,26
	Bonen (L.min^{-1})	100	7-15	M	FC, VCO_2 , VO_2 , Edad	0,95	0,170
	Metz ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	60	12-13	M	FC, VO_2 , RER	0,70	-
Metz ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	60	14-15	M	FC, VO_2 , RER	0,48	3,8	
Herniston	28	25-45	M	Edad, FFV, FC, F_eCO_2 , V_T , RER	0,90	-	

Tabla 1. Resumen de los tests de VO_2 máx. en cinta rodante.

Tipo	Estudio	N	Edades	Sexo/Salud	Variables de Estimación	r	SEE
Bicicleta ergométrica	ACSM (mL.min ⁻¹)	-	-	M, F Sanos	Kg/ min, peso	-	-
	ACSM (L.min ⁻¹)	-	-	M, F Sanos	Watts	-	-
	Latin (mL.min ⁻¹)	110	18-38	M, Sanos	Kg/ min, peso	0,96	154,0
	Legge (L.min ⁻¹)	15	20-29	M, Entrenados	?FC (FC máx.- FC carga cero)	-	0,39
		10	-	M no entrenados	?FC (FC máx.- FC carga cero)	-	0,32
	Wasserman (mL.min ⁻¹)	-	-	-	Watts	-	-
	Fox (mL.min ⁻¹)	87	17-27	M	FC al 5 ^{to} minuto a 150 Watts	0,76	246,0
	Astrand (L.min ⁻¹)	27	18-30	M Sanos	Nomograma	-	0,28
		31	-	F Sanos	Nomograma	-	0,27
	Siconolfi (L.min ⁻¹)	25	20-70	M, Sanos	VO ₂ ; Astrand, edad	0,86	0,36
		28	-	F, Sanos	VO ₂ ; Astrand, edad	0,97	0,20
	Legge (L.min ⁻¹)	25	20-29	M, Sanos	Nomograma que utilizó ?FC (FC máx. - FC carga cero)	0,98	0,17
	Patton (Maximo) (mL.min ⁻¹)	15	-	M, Sanos	Watts	0,89	-
		12	-	F, Sanos	Watts	0,88	-
	Storer (Maximo) (mL.min ⁻¹)	115	20-70	M, Sanos	Watts max, peso, edad	0,94	212,0
116		-	F, Sanos	Watts max, peso, edad	0,93	147,0	
Mastrapaolo (L.min ⁻¹)	13	43-61	M	RER, DBP, V _E , F _e O ₂ , trabajo (kpm)	0,93	0,172	
Siconolfi (L.min ⁻¹)	63	20-70	M, F	Edad, VO ₂ estimado por el Nomograma de Astrand	0,94	0,248	

Tabla 2. Resumen de los tests de VO₂ máx. en bicicleta ergométrica.

La evaluación de las investigaciones resumida en las Tablas 1-3 revelan el uso frecuente de la frecuencia cardíaca de ejercicio en la estimación del VO₂ máx.

Aunque la respuesta de la FC a una carga de trabajo dada se ha expuesto para reflejar contundentemente la capacidad de trabajo físico de un individuo, hay limitaciones asociadas al uso de la misma como una única variable independiente para estimar el VO₂ máx. Por ejemplo, Davies y col. (1) señalaron que el VO₂ máx. es constantemente subestimando debido al patrón de respuesta asintótico, más que lineal, de la FC a medida que se aproxima al VO₂max. Otro problema con estos métodos es la suposición requerida acerca de la FC máxima, usando a la edad como la única variable de estimación de la FC máx.

Muchos laboratorios informan desviaciones estándar para la FC máx. estimada a partir de la edad, en el orden de los 10-15 latidos.min⁻¹ (2). Así, la FC máx. estimada es exacta para algunos, mientras que es alta o baja para una proporción inaceptablemente grande de individuos. En última instancia, esta desviación estándar tan grande, tiene el efecto de reducir la exactitud en la cual el VO₂ máx. puede estimarse a partir de la FC submáxima.

Tipo	Estudio	N	Edades	Sexo/Salud	Variables de Estimación	r	SEE
Subir escalones	ACSM (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	-	-	M, F Sanos	Pasos/min, talla	-	-
	McArdle (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	41	18	F, Sanos	FC de recuperación	0,92	2,9
		-	18-22	M, Sanos	FC de recuperación	-	-
	Jette (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	24	15-74	F	Edad, Peso, VO ₂ , FC de recuperación	-	4,1
Jette (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	35	15-74	M	Edad, Peso, VO ₂ , FC de recuperación	-	4,1	
Test de Campo	Cooper (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	115	17-52	M	35,97 (millas después de 12 min) - 11,29	0,90	-
	Kline (L/min ⁻¹)	343	18-23	M, F	Peso, edad, sexo, tiempo, FC	0,93	0,325
	Coleman (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	90	20-29	M, F Sanos	Peso, edad, sexo, tiempo de La milla marcha , FC	0,79	5,68
	Doolittle	9	14-15	M	Distancia en 12 min	0,90	-
	Getchell	21	18-25	F	Tiempo de 1,5 millas carrera	0,46	-
	Ribisl (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	24	30-48	M	Edad, peso, tiempo en 100 yardas, 200 yardas, y 2 millas carrera	0,95	1,97
	Ribisl (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	11	18-22	M	Edad, peso, tiempo en 100 yardas, 200 yardas, y 2 millas carrera	0,94	1,55
Kline (L/min ⁻¹)	343	30-69	M, F	Tiempo de la milla marcha, edad, FC, peso 1-4	0,93	0,325	
Ecuaciones sin realizar ejercicio	Wier (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	2417 M, 384 F	21-82	M, F	Perímetro de cintura	0,81	4,80
					% de Grasa	0,82	4,72
					BMI	0,80	4,90
	Sanada (L.min ⁻¹)	60 M	21	M	Masa músculo esquelético de la pierna	0,55	-
					Dimensión interna del ventrículo izquierdo al final de la diástole	0,74	-
					Dimensión interna del ventrículo izquierdo al final de la sístole	0,72	-
Volumen Sistólico	0,72	-					

Tabla 3. Resumen de los tests de campo de VO₂ máx.

De las numerosas ecuaciones de estimación divulgadas en la literatura, la mayor parte no presenta los resultados de validación cruzada (3-7), muchas fueron desarrolladas en poblaciones específicas respecto a la edad y el sexo (5, 8-11), y varias no proporcionan valores del error estándar de estimación (SEE) o presentan altos valores, los cuales reflejan la inexactitud de la estimación del VO₂ máx. (12-28).

El propósito de desarrollar ecuaciones de estimación es proporcionar medios más simples para determinar una medición compleja de valorar utilizando variables que son fácilmente mensurables. La selección de variables importantes que tengan probabilidad de influenciar el VO₂ máx., junto con buenas técnicas de investigación y equipos, son factores importantes que afectan la validez de la ecuación de estimación (29). Para desarrollar mejores ecuaciones de estimación, los investigadores necesitan completar mediciones en un gran número de individuos y usar variables que probablemente tienen influencia sobre el criterio. En este caso, presumimos que si la estimación de la frecuencia cardíaca máxima no es usada en la estimación, y es reemplazada por mediciones individualizadas de la respuesta de la frecuencia cardíaca al ejercicio incremental y a la recuperación, podría resultar en la mejora en la exactitud de la estimación del VO₂ máx.

Por lo tanto, dada la importancia de la estimación del VO_2 máx. a partir del ejercicio submáximo, y del hecho de que no existe ningún método exacto para la estimación del mismo, el propósito principal de este estudio fue desarrollar una ecuación de regresión múltiple, exacta y fácil de usar, para estimar el VO_2 máx. en hombres (<40 años) y mujeres (<50 años) a partir de un protocolo submáximo individualizado en bicicleta ergométrica. Un propósito secundario de este estudio fue comparar la exactitud de la nueva ecuación de estimación con otras ecuaciones de estimación comúnmente usadas.

MÉTODOS

Sujetos

Se reclutaron cuarenta y tres varones (18-39 años) y treinta y siete mujeres (18-49 años) voluntarios sedentarios a altamente entrenados, del cuerpo de estudiantes de una gran universidad urbana y la comunidad circundante. Antes de participar en este estudio, los sujetos completaron un cuestionario de historia clínica, y un formulario de consentimiento aprobado por el comité de revisión de sujetos humanos de la universidad.

Todos los sujetos eran no fumadores, aparentemente sanos y estaban familiarizados con el ejercicio en la bicicleta ergométrica. Los sujetos no estaban tomando medicaciones y no sufrían enfermedades cardiovasculares o respiratorias en el momento del estudio. Debido al esfuerzo máximo requerido para el test máximo en bicicleta ergométrica, se impuso un límite de edad (varones ≤ 39 años, mujeres ≤ 49 años, todos los sujetos > 18 años) basado en los requerimientos del comité de revisión de sujetos humanos de la universidad. Antes de presentarse al laboratorio para las evaluaciones, se les dieron a los sujetos las siguientes indicaciones: no comer ni beber (excepto agua) en el plazo de las 3 horas antes de las evaluaciones, no ingerir cafeína en el plazo de 12 horas antes de las evaluaciones, no realizar ejercicios intensos en el plazo de 18 horas antes de las evaluaciones. Todas las pruebas se realizaron a una altitud de 1540 metros y todos los sujetos habían sido residentes de altitudes entre los 1350 y 1850 m por más de un año.

Variables	Media	Intervalo
Edad (años)	27,8 \pm 8,0	19-49
Talla (cm)	172,1 \pm 9,1	152,7-197,3
Peso (kg)	70,4 \pm 13,7	51,3-113,3
VO_2 máx. observado ($\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	44,21 \pm 8,1	24,07-64,53
Grasa corporal (%)	20,62 \pm 8,4	3,75 \pm 43,02
Lo-PAR total ($\text{MET.h}^{-1}.\text{sem}^{-1}$)	312,79 \pm 50,4	238,05-424,01
Nivel de ejercicio del Lo-PAR ($\text{MET.h}^{-1}.\text{sem}^{-1}$)	70,77 \pm 43,9	0,50-207,0
FC reposo (lat.min^{-1})	63,98 \pm 8,6	43-82
FC máx. estimada (lat.min^{-1})	181,6 \pm 5,9	166,7-188,3
80% de la FC estimada (lat.min^{-1})	145,6 \pm 4,6	133-151
Incremento de la producción de potencia en el SM2 (W.min^{-1})	25,3 \pm 6,8	15-45
FC promedio durante el SM2 (lat.min^{-1})	106,08 \pm 10,3	81-129
Pendiente de la Recta FC/tiempo durante el SM2 (valor)	10,82 \pm 2,1	7,09-16,99
?FC (mayor-menor) en la recuperación del SM2	59,3 \pm 14,9	13-93
K no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2 (valor)	1,3377 \pm 0,52	0,4446-3,0520
Tiempo medio no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2 (valor)	0,5897 \pm 0,24	0,1519-1,5590

Table 4. Datos descriptivos de la muestra con variables demográficas, de criterio y de predicción.

Procedimientos

Todos los cuestionarios, controles de salud, mediciones antropométricas y pruebas fisiológicas, se completaron en una sesión. Cuando los participantes se presentaron en el laboratorio, se les informó verbalmente de los procedimientos y posibles molestias y riesgos del estudio. Luego de terminar el cuestionario de historia clínica, se dijo a los sujetos que si reunían los requisitos para participar, se les pediría leer y firmar un consentimiento. Después de firmar el consentimiento,

los participantes completaron el Cuestionario de Registro de la Actividad Física Modificado (*Modified Physical Activity Recall Questionnaire*)(Lo-PAR) (30, 31). La puntuación total y la puntuación de la sección de ejercicio del Lo-PAR fueron registradas como una variable de estimación para el posterior análisis estadístico.

Después de firmar el consentimiento, los sujetos fueron pesados en ropa deportiva sin calzado con una balanza digital calibrada con una apreciación de 0,1 kg (Seca Corporation, Modelo # 707, Columbia, Maryland, Estados Unidos). Las mediciones de talla se obtuvieron con los sujetos descalzos y en media espiración, y se registraron con una apreciación de 0,5 cm usando un estadiómetro (Accu-Hite Stadiometer, Seca Corporation, Columbia, Maryland, Estados Unidos). Los pliegues cutáneos fueron medidos con una apreciación de 0,5 mm usando un calibre Lange (Cambridge Scientific Industries, Columbia, Maryland, Estados Unidos). Todas las mediciones fueron tomadas del lado derecho del cuerpo usando los sitios anatómicos de acuerdo con la ecuación de sumatoria de tres pliegues de Jackson y Pollock (32, 33) para hombres y mujeres. Las mediciones de pliegues cutáneos fueron realizadas hasta que dos mediciones estuvieran dentro del 10%, una respecto de la otra. Para convertir la densidad corporal en % de grasa corporal se usaron las ecuaciones desarrolladas por Heyward y Stolarczyk (34) para hombres y mujeres.

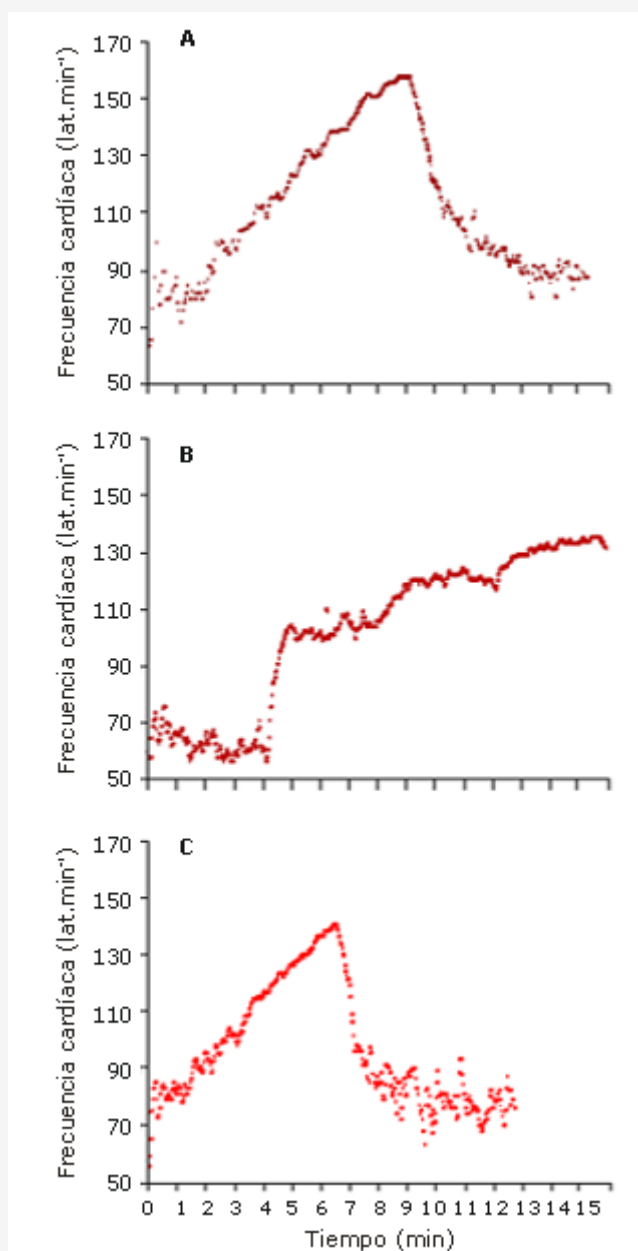


Figura 1. Ejemplos de datos en bruto de un sujeto representativo para: a) test en rampa en bicicleta ergométrica para valorar el VO_2 máx. y 6 min de la recuperación, b) el protocolo YMCA submáximo de 4 etapas, y c) protocolo individualizado en rampa para alcanzar

Pruebas Submáximas y Máximas en Bicicleta Ergométrica

Cada sujeto realizó dos pruebas submáximas y una prueba máxima en bicicleta ergométrica usando un cicloergómetro Lode de carga constante (cadencia independiente) (Excalibur Sport, Corval Lode B.V., Lode Medical Technology, Groningen, Holanda).

Inicialmente los sujetos descansaron por 5 minutos antes de la medición de la FC de reposo. Antes de cada test se ajustó la altura del asiento y el manubrio, adecuados para el sujeto. Las lecturas de FC y electrocardiograma para todas las pruebas fueron supervisadas y registradas continuamente (Biopac, CA) usando un ECG de 3 derivaciones.

Test Submáximo 1 - Protocolo del Test YMCA (SM1)

El protocolo original YMCA (35) usa tres o cuatro cargas consecutivas de 3 minutos. Sin embargo, nosotros modificamos el protocolo para extenderlo a etapas de 4 minutos para detectar más exactamente el estado estable de la FC. Los sujetos realizaron la ergometría con una cadencia de 50 rpm, y la carga inicial de trabajo fue de 25 watts. La frecuencia cardíaca de los últimos 15 segundos fue utilizada para determinar la carga posterior de trabajo (si la FC $<80 \text{ lat.min}^{-1}$: 125 watts; de 80 a 90 lat.min^{-1} : 100 watts; de 90 a 100 lat.min^{-1} : 75 Watts; y $>100 \text{ lat.min}^{-1}$: 50 Watts). La prueba finalizaba cuando se completaban dos cargas de trabajo con frecuencia cardíaca entre 110 y 150 lat.min^{-1} . Los sujetos descansaron aproximadamente 15 minutos antes de la realización del segundo test submáximo.

Test 2 Submáximo - Protocolo del Test en Bicicleta Ergométrica con Escalones de 1 min Individualizado (SM2)

Luego de 15 minutos de descanso, cuando la FC de reposo de los sujetos estuviera a 5-10 lat.min^{-1} del valor de FC de reposo registrada, se comenzó con el segundo test submaximo de 1 minuto por etapa. Los sujetos cumplieron dos minutos de calentamiento sin resistencia. La FC se obtuvo constantemente. Las cargas de trabajo se fueron incrementando en 15-45 Watts/minuto, base a los resultados de la estimación de VO_2 máx. obtenida en el test submáximo anterior.

Cuando los sujetos alcanzaban el 80% de su frecuencia cardíaca máxima estimada por la edad ($[202-0.72 \times (\text{edad})] \times 0,80$) (36), la intensidad del ejercicio decrecía a 25 watts y el sujeto continuaba realizando ejercicio para la recolección de datos de FC durante la recuperación activa.

Test Máximo en Bicicleta Ergométrica

Después de 15 a 20 minutos de descanso, cuando la FC de reposo de los sujetos estuviera a 5-10 lat.min^{-1} de la FC de reposo inicialmente registrada, se dio comienzo al test máximo de VO_2 en bicicleta ergométrica, con análisis de gases espirados. El analizador metabólico fue calibrado antes de cada prueba de cada sujeto. Para la recolección de los datos del VO_2 máx., se utilizó un protocolo incremental en rampa, usando el mismo incremento en watts.min^{-1} del protocolo submáximo por etapas anterior. Luego de medir los gases espirados en reposo por dos minutos, se comenzó con el protocolo usando un ritmo de pedaleo de 70 rpm. Durante la prueba de ejercicio, el VO_2 , VCO_2 , V_E , e índice de intercambio respiratorio (RER) fueron recolectados respiración por respiración usando un transductor de flujo de turbina de respuesta rápida (K.L. Engineering Model S-430, Van Nuys, CA) y el *software* desarrollado para el cliente (LabVIEW, National Instruments, Austn, TX) con el analizador electrónico de gases AEI de oxígeno y dióxido de carbono (AEI Technologies, Modelo S-3^a y Modelo CD-3H, Pittsburg, PA). Las señales sin procesar fueron adquiridas a través de una caja de conexiones conectada a una PC y fueron integradas a una tarjeta de adquisición de datos (National Instruments, Austin, Texas). Las lecturas de la FC y el electrocardiograma configurado en 3 derivaciones (Quinton 4000, Quinton, Seattle, WA) fueron registradas continuamente como promedio de cinco latidos a través de integración electrónica mediante el *hardware* y el *software*, desarrollados para el cliente.

El VO_2 se consideró máximo si se alcanzaban dos de los tres criterios siguientes: 1) nivelación del consumo de oxígeno a pesar del aumento en la carga de trabajo; 2) cociente de intercambio respiratorio $RER=1,1$; y 3) FC dentro de los 15 latidos de la FC máx. estimada para la edad.

Procesamiento de los Datos y Creación de las Variables

SM1

Para el cálculo del VO_2 máx. estimado, la FC fue graficada en función de la carga (watts) sobre un gráfico dibujando una línea que conectaba con la FC y extrapolaba con la FC máx. estimada de los sujetos $[202-0.72 \times (\text{edad}) \text{ latidos.min}^{-1}]$ (33) y

seguido por una línea vertical que caía de la frecuencia cardíaca máxima al eje X. Este punto representa la potencia máxima estimada (watts) en el VO₂ máx. Entonces, el VO₂ máx. estimado correspondiente fue calculado a partir de los vatios usando la siguiente ecuación: VO₂ máx. (mL.min⁻¹)=(Watts x 6 kpm/Watt) x 2 mL/kpm + 300 (32). Además, el VO₂ máx. estimado a través de la ecuación del ACSM y el Nomograma de Astrand-Ryhming fueron calculados para cada sujeto desde los datos de FC estable y carga de trabajo del YMCA.

SM2

Para crear un protocolo individualizado, el aumento en watts estimado para cada etapa de 1 minuto del protocolo de test en bicicleta ergométrica fue determinado a través del test submáximo YMCA (Ecuación 1).

Aumento en Watts.min⁻¹=[VO₂ máx. estimado (L.min⁻¹) YMCA.1000.(11 mL.min⁻¹.Watt^{-1a})-1].12 min⁻¹b + 5 Watt^c (Ecuación 1)

El coste en watts del VO₂ se aproxima a 11 mL.min⁻¹.Watt⁻¹ (37). Para que el test de VO₂ máx. terminara alrededor de los 10-12 minutos, dividimos la estimación pico en vatios por 12 para obtener la función en rampa en Watts.min⁻¹. Sin embargo, como el ejercicio incremental tiene un componente energético cada vez mayor de los sistemas fosfágeno y glucolítico durante la segunda mitad del protocolo, diferentes pruebas piloto revelaron la necesidad de sumar 5 watts a la función final Watts.min⁻¹ en rampa. El ejercicio submáximo y los datos de FC de recuperación y carga de trabajo fueron usados para determinar la relación entre la respuesta de la FC y el incremento en la carga de trabajo durante el ejercicio y la recuperación. Las variables desarrolladas a partir de estos datos incluyen la pendiente de la regresión lineal y no-lineal para la FC y el tiempo, y el porcentaje de recuperación y delta de recuperación (mayor y menor) de la FC (Prism, Graphpad Software, San Diego, CA).

Test Máximo

La FC máxima, el VO₂, VCO₂, V_E, y cociente de intercambio respiratorio (RER) fueron determinados promediando los últimos 15 segundos del registro de datos, centrados alrededor del valor pico respiración por respiración.

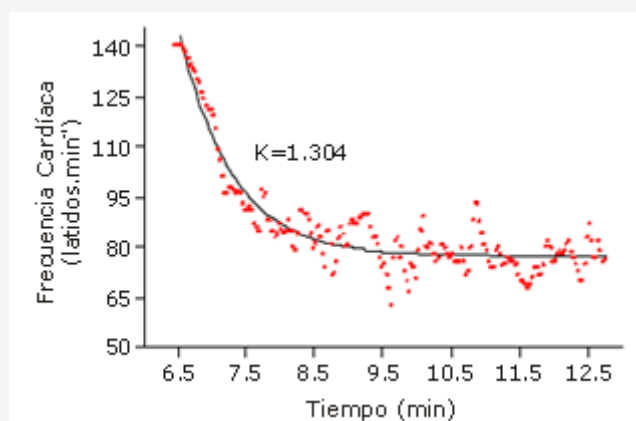


Figura 2. Datos de la frecuencia cardíaca de recuperación para un sujeto representativo después de test escalonado.

Análisis Estadísticos

Todos los datos fueron analizados usando el SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versión 11.1, Chicago, Estados Unidos). Las pruebas diagnósticas fueron realizadas para detectar observaciones desaparecidas, influyentes y/o periféricas, de las cuales no fue encontrada ninguna.

Además, se realizaron todos los procedimientos de control de problemas de datos necesarios (distribución, normalidad, homogeneidad, independencia del error, linealidad, y co-linealidad).

Para presentar las características de los sujetos para todas las variables, se utilizó estadística descriptiva estándar (media, desviación estándar, rango). Para todos los análisis se estableció un valor alfa de $p < 0.05$.

Se realizó un método de entrada de variable jerárquica para obtener el mejor modelo de estimación del VO₂ máx. relativo

(mL.kg⁻¹.min⁻¹).

Las variables inicialmente usadas para seleccionar el mejor subconjunto fueron: edad, género (GND), talla, peso (BW), % de grasa corporal (BF), puntuación total en el Lo-PAR (LPTOT), puntuación de la sección ejercicio del Lo-PAR (LPEXER), frecuencia cardíaca de reposo (HHR), frecuencia cardíaca máxima estimada (PMHR), 80% de la frecuencia cardíaca máxima estimada (PRCHR), así como también el aumento en Watts.min⁻¹ del protocolo de incremento escalonado (MS2 WTIN), la frecuencia cardíaca promedio de ejercicio (MS2 EAHR), frecuencia cardíaca de ejercicio vs. la pendiente de regresión lineal del tiempo (MS2 LRSP), delta de la frecuencia cardíaca de recuperación (mayor-menor) (MS2 DRHR), y frecuencia cardíaca de recuperación vs. constante de velocidad (MS2 RHRNK) de la regresión no-lineal del tiempo (caída exponencial de una fase) y valor del Tiempo Medio (MS2 RHRNHT) (*Prism, Graphpad Software, San Diego, Estados Unidos*). Las ecuaciones generalizadas para el género (género-independiente) y específicas para el género, fueron desarrolladas a partir de los datos para estimar VO₂ máx. Para determinar la correlación y las diferencias medias entre el VO₂ máx. real y el estimado, se utilizó la correlación producto- momento de Pearson y también la Prueba t para muestras de a pares.

Además, para el propósito secundario de este estudio, el VO₂ máx. estimado de cada sujeto se calculó usando la nueva ecuación de esta investigación, YMCA, ACSM, y Nomograma de Astrand-Ryhming.

El análisis de varianza de una vía (ANOVA) fue utilizado para determinar si las estimaciones del VO₂ máx. diferían entre los métodos.

RESULTADOS

Datos en Bruto

En la Figura 1 a-c se presentan ejemplos de datos en bruto de sujetos representativos para la respuesta de la frecuencia cardíaca para las tres pruebas de ejercicio y recuperación. La Figura 2 presenta el método para modelar los datos de frecuencia cardíaca de recuperación para la curva monoexponencial adecuada para obtener las variables de tasa constante.

Las ecuaciones de género específico desarrolladas a partir de los datos no explicaron una mayor varianza respecto a la ecuación generalizada, por lo que la discusión posterior incluirá solamente la ecuación de género independiente. La Tabla 4 presenta las medias, desviaciones estándar, y rangos de las características demográficas de la muestra, así como el criterio y todas las variables independientes (de estimación) utilizadas en el procedimiento de regresión múltiple.

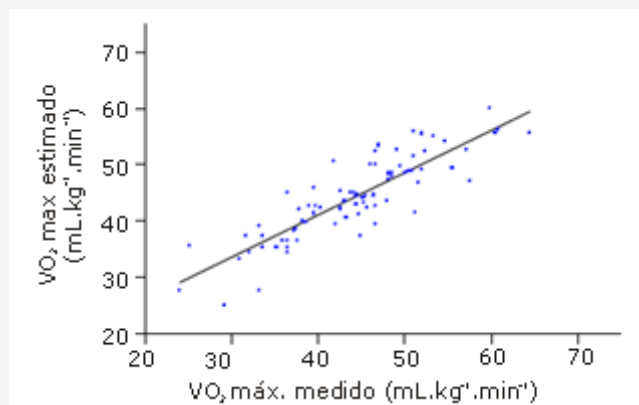


Figura 3. Relación entre VO₂ máx. medido y VO₂ máx. estimado usando la ecuación de regresión múltiple presentada en el texto.

Ecuación de Regresión Derivada de la Muestra

Para obtener el mejor modelo para la ecuación de estimación se aplicó un procedimiento de regresión de 2 pasos. Para el

primer paso, todas las variables de estimación fueron introducidas simultáneamente en el modelo para evaluar su contribución única al modelo de regresión total y al VO₂ máx. observado.

Usando todas las variables de estimación, este modelo de regresión dio como resultado un r²=0,761, un r² ajustado=0,700, un error estándar de estimación (SEE)=4,47 (mL.kg⁻¹.min⁻¹). También se calculó la prueba de Durbin-Watson para evaluar si se encontrada la independencia del error supuesto en el modelo de regresión. El valor fue 2,30, lo que indica que esta suposición fue encontrada. El β estandarizado indica la magnitud de la contribución única que cada variable de estimación hace en el modelo de regresión, para estimar el VO₂ máx. observado. Solo cinco variables (SM2 incremento en Watts.min⁻¹, peso, género, delta de la FC de recuperación en SM2, y valor K no-lineal de la FC de recuperación del SM2) hicieron una contribución significativa al modelo de estimación según los valores del Test t para cada coeficiente β.

Para el segundo paso, se utilizó un método de entrada de variable de regresión múltiple jerárquica, incorporando las cuatro variables significativas previamente determinadas como el primer bloque de variables y después incorporando otro bloque de variables no significativas por bloque dentro del modelo de regresión. Fueron obtenidas varias ecuaciones de regresión para estimar el VO₂ máx., y a partir de estas ecuaciones seleccionó el modelo de estimación más eficiente. Esta ecuación fue la que requería el menor tiempo para ser completada y la menor cantidad de variables para supervisar, mientras que todavía permitía realizar estimaciones del VO₂ máx. con un bajo SEE (<5 mL.kg⁻¹.min⁻¹). En las Tablas 5-7 se presentan el resumen del modelo, el conjunto de variables de estimación, y las correlaciones entre variables de estimación, así como el VO₂ máx. observado a partir del mejor modelo seleccionado. La ecuación de predicción derivada de los datos fue la siguiente:

$$\text{VO}_2 \text{ máx. (mL.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}) = 46,103 + (-0.353\text{BW}) + (0,683 \text{ MS2 WTIN}) + (-5,995 \text{ GNDa}) + (0.165 \text{ MS2 DRHR}) + (2,816 \text{ MS2 RHRNK}) + (0,0138 \text{ LPEXER}) + 4,234$$

a. Varones=1; Mujeres=2

Variables	Media	Intervalo
Edad (años)	27,8±8,0	19-49
Talla (cm)	172,1±9,1	152,7-197,3
Peso (kg)	70,4±13,7	51,3-113,3
VO ₂ máx. observado (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	44,21±8,1	24,07-64,53
Grasa corporal (%)	20,62±8,4	3,75±43,02
Lo-PAR total (MET.h ⁻¹ .sem ⁻¹)	312,79±50,4	238,05-424,01
Nivel de ejercicio del Lo-PAR (MET.h ⁻¹ .sem ⁻¹)	70,77±43,9	0,50-207,0
FC reposo (lat.min ⁻¹)	63,98±8,6	43-82
FC máx. estimada (lat.min ⁻¹)	181,6±5,9	166,7-188,3
80% de la FC estimada (lat.min ⁻¹)	145,6±4,6	133-151
Incremento de la producción de potencia en el SM2 (W.min ⁻¹)	25,3±6,8	15-45
FC promedio durante el SM2 (lat.min ⁻¹)	106,08±10,3	81-129
Pendiente de la Recta FC/tiempo durante el SM2 (valor)	10,82±2,1	7,09-16,99
?FC (mayor-menor) en la recuperación del SM2	59,3±14,9	13-93
K no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2 (valor)	1,3377±0,52	0,4446-3,0520
Tiempo medio no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2 (valor)	0,5897±0,24	0,1519-1,5590

Tabla 5. El resumen del modelo del procedimiento de regresión jerárquica. a. Variables de estimación: (constante), incremento de vatios por minuto del SM2, peso, sexo, Delta de la FC en la recuperación del SM2, valor K no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2, registro de ejercicio del Lo-PAR. b. Variable dependiente: VO₂ máx. medido.

Parámetros de Estimación	B	βa	t	?
(Constante)	46,103	-	9,181	0,001
Peso	-0,353	-0,595	-7,499	0,001
Incremento de vatios por minuto del SM2	0,683	0,570	6,658	0,001
Sexo	-5,995	-0,386	-4,760	0,001
?FC de recuperación del SM2 (mayor - menor)	0,165	0,302	4,505	0,001
Valor K no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2	2,816	0,182	2,905	0,005
Nivel de ejercicio del Lo-PAR	0,0137	0,074	1,129	0,263

Tabla 6. Conjunto de variables de estimación del procedimiento de regresión.

	Parámetros de Estimación	1	2	3	4	5	6	7
1	VO2 máx. observado		-0,105	0,563	-0,369	0,607	0,095	0,417
2	Peso			0,550	-0,533	0,046	-0,231	0,110
3	Incremento de vatios por minuto del SM2				-0,506	0,421	-0,122	0,399
4	Sexo					-0,234	0,348	-0,311
5	?FC de recuperación del SM2 (mayor - menor)	1,000	1,000	1,000	1,000		-0,073	0,263
6	Valor K no lineal FC/tiempo de la recuperación del SM2					1,000	1,000	-0,072
7	Nivel de ejercicio del Lo-PAR							1,000

Tabla 7. Correlaciones entre las variables estimación y el VO₂ máx. observado.

Hubo una correlación significativa entre el VO₂ máx. real y el estimado ($r=0,867$, $p<0,0001$), y los tests estadísticos para muestras de a pares no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre el VO₂ máx. medido y estimado. ($t=1,156$, $DS=4,07$, $p=0,99$). Los valores de VO₂ máx. estimados vs. medidos, son presentados en el Figura 3.

Comparación de las Ecuaciones de Estimación Comúnmente Utilizadas

El análisis de varianza (ANOVA) de una vía fue utilizado para determinar las diferencias medias entre los resultados del estudio para las estimaciones del VO₂ máx. a partir de las ecuaciones YMCA, ACSM y el nomograma de Astrand-Ryhming, y el VO₂ máx. real medido. En la Tabla 8 están representadas las medias, desviaciones estándares, y rangos de las cuatro ecuaciones de estimación y del VO₂ máx. observado. El análisis de varianza de 1 vía presentó una diferencia significativa ($p<0,0001$) en el VO₂ máx. real y el estimado por la ecuación YMCA, la ecuación del ACSM, y el nomograma de Astrand-Ryhming. Sin embargo, la diferencia media entre el VO₂ máx. estimado por la ecuación de este estudio y el VO₂ máx. observado no fue significativa ($F_{(4,395)} = 13,12$, $MSE=68,7$, $p=0,97$, $n=80$). Los resultados también muestran que las ecuaciones YMCA, ACSM y el nomograma de Astrand-Ryhming subestiman el VO₂ máx. real. Los resultados del ANOVA y de las comparaciones múltiples HSD de Tukey se presentan en las Tablas 9 y 10. Las medias de las puntuaciones de VO₂ máx. estimadas y medidas fueron trazadas en la Figura 4.

n=80			
	Media	DS	Intervalo
VO2 max observado (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	44,22	8,1	24,07-64,53
Ecuación YMCA	38,77	8,9	17,91-57,20
Ecuación ACSM	36,88	8,6	17,61-56,77
Nomograma de Astrand-Ryhming	40,05	8,4	21,58-59,85
Nueva ecuación del estudio	44,20	7,1	25,20-60,07

Tabla 8. Medias, desviaciones estándar, y rangos para las cuatro ecuaciones de estimación y VO₂ máx. observado.

Media	Suma de Cuadrados	df	Cuadrado Medio	F	Significancia
Inter grupos	3609,129	4	902,282	13,126	<0,001*
Intra grupos	27153,339	395	68,743		
Total	30762,468	399			

Tabla 9. Resultados del test ANOVA (n=80). * p<0,05.

n=80		Diferencia Media	Error Estándar	Significancia
VO ₂ máx. observado (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Ecuación YMCA	5,84	1,31	<0,001*
	Ecuación ACSM	7,33	1,31	<0,001*
	Nomograma de Astrand-Ryhming	4,16	1,31	<0,001*
	Nueva ecuación del estudio	0,002	1,31	1,000

Tabla 10. Comparación multiples HSD de Tukey entre la nueva ecuación, las estimaciones de YMCA, ACSM y el Nomograma de Astrand-Ryhming, y el VO₂ máx. real medido. * p<0,05.

DISCUSION

El consumo máximo de oxígeno puede estimarse con una exactitud razonable ($r=0,867$, $SEE=4,23$ mL.kg⁻¹.min⁻¹) a partir de los datos de un test individualizado submáximo en bicicleta ergométrica usando ecuaciones de regresión múltiple. Lewis y col. (38) demostraron que las variaciones en el VO₂ máx. con diferentes formas de ejercicio generalmente reflejan la cantidad de masa muscular activada. Los estudios que determinaron el VO₂ máx. para los mismos sujetos durante diferentes modelos de ejercicio indicaron que generalmente el ejercicio en cinta rodante produce los valores más altos (39). El ejercicio en cinta rodante demuestra ser altamente atractivo para determinar VO₂ máx. en sujetos saludables en el laboratorio. La mayoría de los estudios muestra que el VO₂ máx. medido en bicicleta ergométrica es de 10 a 15% menor que el medido en cinta rodante (40). Swain y Wright (41) encontraron que las cadencias entre 50 y 80 rpm fueron igualmente válidas para estimar VO₂ máx. a partir de una prueba submáxima en bicicleta ergométrica. Seleccionamos 70 rpm como un valor medio conservador para usarlo en este estudio.

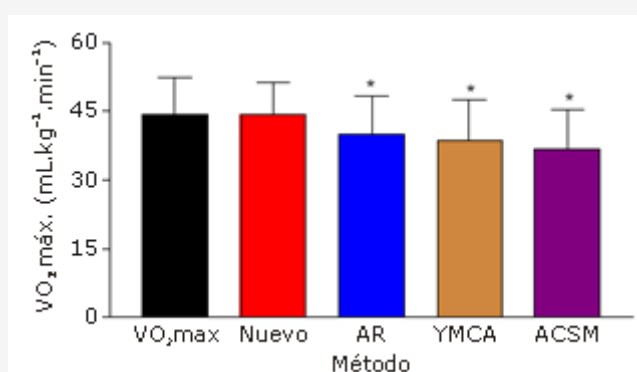


Figura 4. Valores de media±DS para el VO₂ máx. medido y estimado a través de diferentes métodos. VO₂ máx.=medido en este estudio; YMCA=ecuación YMCA, AR=Nomograma de Astrand-Ryhming, Nuevo=ecuación de predicción de este estudio. * Diferencia

Los estudios en los cuales se han discutido las ventajas y desventajas de diferentes modelos de ejercicio y protocolos, divulgaron que un protocolo ideal debería considerar lo siguiente: 1) el propósito del test; y 2) el sujeto testeado (42). Sin embargo para la mayoría de las pruebas de ejercicio, la elección del protocolo está dirigida por la tradición, el equipamiento o la conveniencia. La necesidad de mantener la duración de un test de 12 minutos sugiere que los incrementos en la intensidad serán diferentes para individuos con diferentes capacidades cardiorrespiratorias. Este hecho enfatiza la necesidad de adaptar un protocolo que sea adecuado a un sujeto dado. Por lo tanto, la estimación de la capacidad cardiorrespiratoria de una persona, su nivel habitual de actividad física, y su historial de entrenamiento son los primeros pasos importantes para determinar el protocolo para la realización de una dada prueba.

Esta estimación puede entonces ser aplicada a diferentes procedimientos de evaluación (29).

En este estudio se empleó un cuestionario modificado de actividad física llamado Lo-PAR para valorar el nivel de actividad física habitual de los sujetos. La puntuación del nivel de ejercicio del Lo-PAR fue usada en el modelo de regresión para estimar el VO_2 máx. y fue una de las variables de estimación más significativas que contribuyó a la exploración de la varianza entre sujetos en el VO_2 máx.

La disminución de la actividad física parece ser un factor principal, junto con la pérdida de masa magra, y el aumento en la masa grasa, en la descripción de la disminución del VO_2 máx. en adultos y personas mayores (43). Además, la inactividad prolongada tiene muchos efectos perjudiciales sobre los músculos y el sistema cardiovascular. Por ejemplo, el reposo en cama conduce a una disminución en el VO_2 máx. de 0,8 % por día. Las investigaciones han mostrado que el aumento en la potencia aeróbica con el entrenamiento es tan rápido como su disminución sin él, y la mayoría de las mejoras en el VO_2 máx. ocurren dentro de las tres semanas de comenzar un entrenamiento cardiorrespiratorio intenso (3 a 4 veces por semana, intensidad moderada a intensa). Además, una vez que se alcanza el VO_2 máx. deseado, es posible mantenerlo reduciendo la frecuencia y manteniendo la intensidad del entrenamiento (45). De acuerdo con esta información referida a los efectos del entrenamiento, y el nivel alto de actividad física, no es sorprendente que el nivel de ejercicio del Lo-PAR fuera seleccionado como una importante variable de estimación en la ecuación del presente estudio.

Un defecto obvio de la propuesta descrita en este estudio fue el uso de dos tests en vez de uno. El primer test (SM1) fue realizado con un propósito: valorar los vatios máximos al nivel del máximo consumo de oxígeno de los sujetos a través de un protocolo en bicicleta ergométrica, fácil de usar y por lo tanto, valorar cuan exactamente podría alcanzarse la duración e intensidad del test usando una propuesta individualizada. El incremento en vatios por minuto, que fue determinado individualmente para cada sujeto de este estudio, fue identificado como una variable de estimación significativa por el modelo de regresión para estimar el VO_2 máx.

Las ecuaciones específicas para el género desarrolladas a partir de los datos ($r=0,843$, $SEE=4,87$ para los hombres, y $r=0,835$, $SEE 5,54$ para las mujeres) no explicaron una mayor varianza que la ecuación generalizada, así que las discusiones posteriores incluirán solamente la ecuación independiente del género. La menor varianza explicada y el más alto error de estimación estándar del modelo de regresión específico para el género se debieron muy probablemente al menor número de la muestra (varones 43, mujeres 37).

Mientras que el VO_2 máx. absoluto ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) para un ejercicio en cinta rodante a un dado nivel de trabajo está sustancialmente afectado por el peso corporal, este no es el caso del ejercicio en bicicleta ergométrica, puesto que el peso corporal es soportado en el asiento. Sin embargo, Wasserman y Whipp (46) informaron que el VO_2 máx. es afectado por el peso corporal del sujeto incluso en los ejercicios en donde el peso es sostenido por la bicicleta, debido a las diferencias en el costo de O_2 al mover los grandes músculos de las piernas. Para un dado nivel de trabajo, encontraron que el VO_2 máx. era $5,8 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ más alto por cada kilogramo adicional de peso corporal. Se puede ver claramente en la Tabla 1 que el peso corporal y el género son variables de estimación significativas en otros estudios. Esto también fue real en la presente investigación. La diferencia más llamativa entre la ecuación de regresión generada de el presente conjunto de datos y las ecuaciones de regresión divulgadas anteriormente, es la inclusión de la respuesta de la FC de recuperación de los sujetos, como una variable significativa de estimación del VO_2 máx. Tal como lo muestra la Tabla 1, sólo las ecuaciones de estimación específicas para el género de McArdle y Jette, usan a la FC de recuperación como una variable de estimación. McArdle planteó claramente que su frecuencia cardiaca de recuperación luego de un test escalonado proporcionó información significativa acerca del VO_2 máx. Encontraron que sujetos con alta FC de recuperación y un patrón de disminución más lento, tendieron a tener un VO_2 máx. más bajo, mientras que una recuperación rápida (rápida reducción, menor FC) estaba relacionada con valores de VO_2 máx. relativamente altos. De manera similar, el delta de la recuperación de la FC (mayor - menor) y el valor K estadístico no lineal (una fase exponencial) FC de recuperación/tiempo de este

estudio, fueron seleccionados como importantes variables de estimación en el modelo de regresión.

La edad no fue una variable de estimación importante en nuestro modelo de regresión. La capacidad funcional de un individuo disminuye después de los 30 años, observándose una variación en el deterioro a cualquier edad dependiendo de diversas condiciones, especialmente las características del estilo de vida (39). La edad media de los sujetos fue 27,8 y la puntuación en el Lo-PAR indicaba que el 95% de los sujetos era inactivo a muy activo ($>250 \text{ MET}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{semana}^{-1}$), perteneciendo solo un 5% de los sujetos a la categoría de menos activos. Que el estudio haya implicado a sujetos jóvenes, los cuales tienen estilos de vida activo a muy activo podría ser la razón subyacente de este resultado.

El Nomograma de Astrand-Ryhming (47) asume una relación lineal entre la frecuencia cardíaca (FC) y el consumo de oxígeno. En base a esto, una extrapolación de la respuesta de la FC a una carga de trabajo submáxima en la bicicleta ergométrica es usado para estimar el VO_2 máx. Glassford y col. (48) y Teraslinna et al. (49) usaron un factor corregido por la edad juntamente con el nomograma y encontraron una correlación entre el VO_2 máx. medido y estimado de 0,92 y 0,80, respectivamente. Davies (1) mostró que el Nomograma de Astrand-Ryhming subestima el VO_2 máx. en forma constante.

En la cuarta edición de su libro de Lineamientos, el test submáximo en bicicleta del ACSM (50) consistió de múltiples etapas (generalmente 3 o 4) de dos minutos, diseñadas para lograr una aproximación del sujeto al 70% de la frecuencia cardíaca máxima estimada para la edad. En la quinta edición de los Lineamientos, el ACSM modificó su protocolo de test de bicicleta para hacer las etapas de 3 minutos de duración. Swain y Wright (41) evaluaron esta prueba y encontraron que este método también sobrestima el VO_2 máx. real en un promedio de 28%. Concluyeron que la duración de las etapas en el protocolo del ACSM podría ser la razón principal de la sobrestimación del VO_2 máx. Si se obtuvieran valores más altos de FC para cargas de trabajo dadas, los valores extrapolados de carga de trabajo máxima estimada y de VO_2 máx. estimado serían menores, y así, no serían sobrestimados.

Un test similar comúnmente usado para la investigación de la aptitud física es el test submáximo en bicicleta ergométrica creado por el YMCA, en el cual el trabajo se incrementa en base a la respuesta de la FC a un nivel submáximo (32). Aunque la respuesta de la FC a cualquier carga de trabajo dada ha mostrado reflejar contundentemente la capacidad de trabajo físico de un individuo, hay limitaciones asociadas con el uso de la FC como única variable independiente para estimar el VO_2 máx. Otro problema con estos métodos es la suposición requerida acerca de la FC máxima utilizando la edad como la única variable de estimación. Muchos laboratorios divulgaron desviaciones estándar para la FC máxima estimada a través de la edad, en el orden de 10 -15 latidos.min⁻¹.

Las Tablas 1, 2 y 3 contienen resúmenes de variables de estimación, coeficientes de correlación, y SEE de de la mayor parte de las investigaciones acerca de ecuaciones de estimación del VO_2 máx.. De las diferentes ecuaciones que fueron presentadas por otros estudios, la ecuación que proporcionó el r más alto y el SEE más bajo, fue seleccionada para las comparaciones. A partir de estas tablas es evidente que la ecuación de regresión múltiple se obtuvo en el presente estudio, con un valor r de 0,867, 75% de la varianza explicada, y 4,234 ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), y 0,29 ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) de SEE, es más exacta que la mayoría de las otras ecuaciones de estimación, especialmente aquellas que usan a los nomogramas como herramienta de estimación.

La razón principal de la mayor exactitud en la estimación encontrada en este estudio se debe probablemente a la propuesta del protocolo individualizado y submáximo. En esta propuesta, el SM1 fue utilizado para determinar el mejor incremento en vatios para el SM2 y el uso de etapas de 4 minutos más que de 3 minutos, que permitirían al sujeto alcanzar un estado estable de la FC real. Si el estado estable de la FC no es alcanzado en las etapas submáximas del SM1 del protocolo YMCA, entonces la FC registrada será más baja, lo cual resulta en una sobreestimación de la carga de trabajo.

Por lo tanto, se esperaba que las etapas de duración más larga usadas en SM1 resultaran (y lo hicieron) en un mayor exactitud en el incremento en vatios por minuto en el protocolo de SM2 y por lo tanto, en una contribución significativamente mayor a la estimación del VO_2 máx. a partir de los datos de SM2. Bajo estas circunstancias, no es sorprendente que la diferencia media entre las estimaciones del VO_2 máx. de los protocolos YMCA, ACSM, y el nomograma de Astrand-Ryhming y el valor medido, fueran significativas, mientras que la diferencia media entre la ecuación de estimación de este estudio, y el VO_2 máx. medido no fue significativa (Tabla 8; Figura 4).

Conclusión

El uso de regresión múltiple con el método de entrada de variable jerárquica demostró ser un método eficaz para desarrollar una ecuación de estimación satisfactoria a partir de un protocolo submáximo en bicicleta ergométrica. La técnica de esta regresión múltiple permite la inclusión de determinantes adicionales del VO_2 máx. si se requiere una estimación más exacta.

Ecuaciones tales como la que fue presentada en este estudio deberían ser probadas en poblaciones múltiples para

determinar su validez en estas poblaciones especiales. La aplicación de la ecuación y métodos de evaluación utilizados en este estudio, en individuos en ambientes clínicos, debe realzar y expandir su utilidad como una herramienta valiosa para clasificar la capacidad de realizar ejercicio y la prescripción del mismo en una amplia gama de individuos.

Dirección para Envío de Correspondencia

Robert A. Robergs, Director: Exercise Physiology Laboratories, Exercise Science Program, Department of Physical Performance and Development, Johnson Center Room B143, The University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, 87131. teléfono: (505) 277- 2658; Fax: (505) 277-9742; correo electrónico: rrobergs@unm.edu.

REFERENCIAS

1. Davies C. T. M (1968). Limitations of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J Appl Physiol* 1968; 24:700-706
2. Froelicher V. F., Myers J., Follansbee W. P. & Labovitz A. J (1993). Exercise and Heart. *St. Louis, MO: Mosby-Year Book*
3. Falls H., Ismail A. H. & Macleod D. F (1966). Estimation of maximum oxygen uptake in adults from AAHPERD Youth Fitness test items. *Res Quart* 37:192-201
4. Ribisl P. M & Kachadorian W. A (1969). Maximal oxygen intake prediction in young and middle-aged males. *J Sports Med* 9:17-22
5. Fox E. L (1973). A simple accurate technique for predicting maximal aerobic power. *J Appl Physiol* 35:914-916
6. Jette M., Campell J., Mongeon J. & Routhier R (1976). The Canadian Home Fitness Test. *Can Med Assoc J* 114:680-683
7. Mastropaolo J. A (1970). Prediction of maximal O₂ consumption in middle -aged men by multiple regressions. *Med Sci Sports Exerc* 2:124-127
8. Bonen A., Heyward V. H., Cureton K. J., Boileau R. A. & Massey B. H (1979). Prediction of maximal oxygen uptake in boys, ages 7 -15 years. *Med Sci Sports Exerc* 11: 24-29
9. Jessup G. T., Tolson H. & Terry J. W (1974). Prediction of maximal oxygen intake from Astrand-Rhyming test, 12-minute run, and antropometric variables using stepwise multiple regressions. *Am J Phys Med* 53:200- 207
10. McArdle W. D., Katch F. I., Pechar G. S (1972). Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step-test scores in college women. *Med Sci Sports Exerc* 4:182-186
11. Metz K. F. & Alexander J. F (1971). Estimation of maximal oxygen intake from submaximal work parameters. *Res Quart* 42:187-193
12. Cooper K. H (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. *JAMA* 203:201-204
13. Kline K. M., Porcari J. P., Hintermeister R (1987). Estimation of VO₂max from a one-mile track walk, gender, age and body weight. *Med Sci Sports Exerc* 19:253-259
14. Doolittle T. & Rigbee R (1968). The twelve-minute run-walk: A test of cardiorespiratory fitness of adolescent boys. *Res Quart* 39:491-495
15. Getchell L. H., Kirkendall D. & Robbins, G (1977). Prediction of maximal oxygen uptake in young adult women joggers. *Res Quart* 48:61-67
16. Hermiston R. & Faulkner J. A (1971). Prediction of maximal oxygen uptake by a step-wise regression technique. *J Appl Physiol* 30:833-837
17. Widrick J., Ward A. & Ebbeling C (1992). Treadmill validation of an over-ground walking test to predict peak oxygen consumption. *Eur J Appl Physiol* 64:304-308
18. Ebbeling C. B., Ward A. & Puleo E. M., Widrick J. & Rippe J. M (1991). Development of single stage submaximal walking test. *Med Sci Sports Exerc* 23(8):966-973
19. Wilmore J. H. & Costill D. L (1974). Semi-automated systems approach to the assessment of oxygen uptake during exercise. *J Appl Physiol* 36:618-620
20. Siconolfi S. F., Cullinane E. M., Carleton R. A. & Thompson P. D (1982). Assessing VO₂max in epidemiologic studies: modification of the Astrand-Rhyming test. *Med Sci Sports Exerc* 14:335-338
21. Legge B. J. & Bannister E. W (1986). The Astrand-Rhyming Nomogram revisited. *J Appl Physiol* 61: 1203-1209
22. Coleman A. E (1976). Validation of a submaximal test of maximal oxygen intake. *J Sports Med Phys Fitness* 16:106-111
23. Latin R. W., Berg K. E. & Smith P (1993). Validation of a cycle ergometry equation for predicting steady-rate VO₂. *Med Sci Sports Exerc* 25(8):970-974
24. Patton J. F., Vogel J. A. & Mello R. P (1982). Evaluation of a maximal predictive cycle ergometer test of aerobic power. *Eur J Appl Physiol* 49:131-140
25. Storer T. W., Davis J. A. & Caiozzo V. J (1990). Accurate prediction of VO₂max in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc* 22:704-712
26. Bruce R. L., Kusumi F., Hosmer D (1973). Maximal oxygen intake and normographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* 85:545-562
27. Foster C., Jackson A. S., Pollock M. L (1984). Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *Am Heart J* 107:1229-2134
28. Froelicher V. F. & Lancaster M. C (1974). The prediction of maximal oxygen consumption from a continuous exercise treadmill protocol. *Am Heart J* 87:445-450

29. Robergs R. A. & Roberts S. O (2000). *Fundamental principles of exercise physiology: For fitness, performance, and health*. Boston, Massachusetts: McGraw Hill
30. Sallis J. F., Haskell W., Wood P. et al (1987). Seven-day physical activity Recall. *Med Sci Sports Exerc Supp.* 29:S89-S103
31. Ainsworth B. E., Haskell W. L., Leon A. S., Jacobs Jr. DR., Montoye H. J., Sallis J. F. et al (1993). Compendium of physical activities: Classification of energy costs of human physical activities. *Med Sci Sports Exerc* 25:71-78
32. Jackson A., Pollock M (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British J Nutr* 40:497-504
33. Jackson A., Pollock M (1980). Generalized equations for predicting body density for women. *Med Sci Sports Exerc* 12:175-182
34. Heyward V., Stolarczyk L (1996). *Applied body composition assessment*, 1st ed. Champaign, IL: Human Kinetics
35. Golding L. A., Meyers C. R. & Sinning W. E (1989). *Y[un]s way to physical fitness: The complete guide to fitness and instruction*, 3rd Ed. Champaign, IL: Human Kinetics
36. Jones N. J., Makrides L., Hitchcock C., Chypchar T. & McCartney N (1985). Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Resp Disease* 131:700-708
37. Medbo J. I. & Tabata I (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during shortlasting, exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* 67:1881-1886
38. Lewis S. F. et al (1983). Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative workload. *J Appl Physiol* 54:1314-1317
39. McArdle W. D., Katch F. I. & Katch V. L (2001). *Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance*, 5th Ed. Baltimore, Maryland: Lippincott Williams & Wilkins
40. Brooks G. A., Fahey T. D., White T. P. & Baldwin K. M (2000). *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications*. 3rd Ed. Mountain View, California: Mayfield
41. Swain D. P. & Wright R. L (1997). Prediction of VO₂ peak from submaximal cycle ergometry using 50 versus 80 rpm. *Med Sci Sports Exerc* 29:268-272
42. Myers J., Buchanan N., Smith D., Neutel J., Bowes E., Walsh D. & Frolicher V. F (1992). Individualized ramp protocol: Observations on a new protocol. *Chest* 101(5):236S-241S
43. Jackson A. S., Wier L. T., Ayers G. W., Beard E. F., Stuteville J. E. & Blair S. N (1996). Changes in aerobic power of women, ages 20-64yr. *Med Sci Sports Exerc* 28:284-293
44. Tipton C. M. & Hargens A (1996). Physiological adaptations and counter measures associated with long - duration space flights. *Med Sci Sports Exerc* 28:974-976
45. Hickson R. C. et al (1985). Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *J Appl Physiol* 58:492-499
46. Wasserman K. & Whipp B. J (1975). Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Resp Disease* 112:219-249
47. Astrand P. O. & Rhyning I (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol* 7:218-221
48. Glassford R. G., Baycroft G. H. Y., Sedgwick A. W. & MacNab R. B. J (1965). Comparisons of maximal oxygen uptake determined by predicted and actual methods. *J Appl Physiol* 20:509-513
49. Teraslinna P., Ismail A. H. & MacLeod D. F (1966). Nomogram by Astrand and Rhyning as a predictor of maximum oxygen intake. *J Appl Physiol* 21:513-515
50. American College of Sports Medicine (1991). *Guidelines for exercise testing and prescription*, 4th Ed. Philadelphia, Lea & Febiger
51. Wier L. T., Jackson A. S., Ayers G. W., Arenare B (2006). Non-exercise models for estimating VO₂max with waist girth, percent fat or BMI. *Med Sci Sports and Exerc* 38(3):555-561
52. Sanada K., Midorikawa T., Yasuda T., Kearns C. F., Abe T (2007). Development of non-exercise prediction models of maximal oxygen uptake in healthy Japanese young men. *Eur J Appl Physiol* 99:143-148.

Cita Original

Akalan Cengiz, Robert A. Robergs, y Len Kravitz. Prediction of VO₂ max from an Individualized Submaximal Cycle Ergometer Protocol. JEPonline; 11 (2): 1-17, 2008.