

Monograph

Predicción del Consumo de Oxígeno en Pacientes de Rehabilitación Cardíaca que Realizan una Ergometría de Brazos

Stanley P Brown¹

¹Department of Physical Therapy, Southwest Baptist University, Bolivar, MO 65613.

RESUMEN

En el presente estudio se comparó una nueva ecuación para la predicción del consumo de oxígeno durante la realización de una ergometría de brazos con la ecuación del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) utilizando 31 pacientes de rehabilitación cardíaca (8 mujeres y 23 hombres) de entre 36-83 años de edad. La ergometría de brazos fue llevada a cabo en un cicloergómetro Monark 868 modificado, con etapas en las cuales la carga se incrementó en 150 kgm/min y con períodos de recuperación de 2 minutos. El consumo de oxígeno fue medido de forma continua. En el momento de la evaluación los pacientes se encontraban en diversas etapas de su programa de tratamiento externo para la rehabilitación cardíaca, y utilizando un amplio rango de medicamentos cardioactivos. Con las cuatro cargas de trabajo la ecuación del ACSM subestimó el costo real de oxígeno desde 105 hasta 438 mL/min ($p < 0.05$). En base a la relación consumo real de oxígeno - producción de potencia se derivó una ecuación revisada para la estimación del consumo de oxígeno. En comparación con la ecuación del ACSM, en la ecuación revisada la pendiente resultante fue menor y la ordenada al origen fue aproximadamente la misma. La ecuación revisada es: $\text{VO}_2 \text{ (mL/min)} = 2.16 * (\text{kgm/min}) + 285 \text{ mL/min}$. Esta ecuación tiene un coeficiente r de 0.94 y un error estándar de estimación de 104 mL/min. Si bien los resultados sugieren que es apropiada la utilización de esta nueva ecuación para estimar el consumo de oxígeno en pacientes cardíacos, se requieren investigaciones adicionales para validar y evaluar la precisión de esta nueva ecuación para la ergometría de brazos.

Palabras Clave: costo de oxígeno, consumo de oxígeno, regresión

INTRODUCCION

Un reciente trabajo ha mostrado que la ecuación del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) para las ergometrías de piernas, es menos precisa para estimar el VO_2 a partir de la producción de potencia (en kgm/min) en ergómetros Monark con freno mecánico que ciertas ecuaciones derivadas recientemente (1, 2). Estas ecuaciones han mostrado ser específicas para el sexo, i.e., las ecuaciones homogéneas desarrolladas para hombres y mujeres universitarios tienen diferentes pendientes y ordenadas al origen (2). Más recientemente, se utilizaron los datos del HERITAGE Family Study para derivar una ecuación heterogénea para cicloergómetros en base a los datos de hombres y mujeres y la cual resultó ser ligeramente mejor que la ecuación del ACSM (3).

Debido a que la ecuación original del ACSM para ergómetros de piernas ha mostrado ser menos precisa que las nuevas ecuaciones recientemente desarrolladas, también existe la necesidad de determinar la precisión de la ecuación del ACSM para los ergómetros de brazos [VO_2 (mL/min) = (kgm/min \times 3 mL/kg/min) + (3.5 mL/kg/min \times kg de masa corporal)], y si esta ecuación es adecuada para pacientes de rehabilitación cardíaca, una población cuya prescripción del ejercicio con frecuencia se realiza en base a ecuaciones de regresión para el VO_2 . Cuando se ejercitan a la misma carga de trabajo, los pacientes cardíacos han mostrado tener valores de VO_2 menores que los sujetos saludables (4). La relación entre el VO_2 y la producción de potencia probablemente sea diferente en pacientes que se encuentra realizando un programa de rehabilitación cardiopulmonar en comparación con hombres y mujeres jóvenes saludables, y esto puede deberse a alteraciones en la función cardiovascular central y periférica que resultan de: (1) la presencia de efectos múltiples provocados por la combinación de diversas medicaciones cardioactivas, (2) la presencia de una variedad de eventos e intervenciones cardíacas pasadas, incluyendo infarto de miocardio y cirugía cardíaca, y (3) la edad y el nivel de aptitud física de los sujetos.

Brown et al (5) derivaron una ecuación de regresión a partir de las respuestas al ejercicio en cicloergómetro de brazos con 31 pacientes de rehabilitación cardíaca de diferente sexo, edad, historia cardíaca y en diferentes etapas del programa de rehabilitación. El propósito de este análisis fue derivar una ecuación de regresión heterogénea, en lugar de una homogénea, que pudiera ser aplicable a cualquier paciente cardíaco que esté realizando un programa de rehabilitación. Esta ecuación: VO_2 (mL/min) = 253.381 - 2.001*(edad) + 2.947*(masa corporal) + 9.764*(Watts) + 0.026*(Watts²) tiene un coeficiente de correlación múltiple de 0.96 y un bajo error de estimación estándar de 90 mL/min. Sin embargo, la utilización de esta ecuación es algo engorrosa debido al número de variables independientes que incorpora y además requiere que la producción de potencia en kgm/min sea convertida a Watts. Estos factores hacen que sea difícil la comparación directa con la ecuación del ACSM y con similares ecuaciones que utilizan solo una variable independiente. Por lo tanto, el propósito del presente estudio fue utilizar los datos existentes (5) para desarrollar una nueva ecuación para cicloergómetros de brazos en base a una sola variable independiente, que pudiera compararse directamente con la ecuación para ergómetros de brazos del ACSM.

MÉTODOS

Los datos que forman la base del presente artículo de investigación fueron utilizados en un reporte previamente publicado en el cual se derivó una ecuación de regresión para ergómetros de brazos y que utilizó la edad, la masa corporal, la producción de potencia en Watts y la producción de potencia en Watts elevada al cuadrado, para estimar el VO_2 (5). En el presente estudio, este conjunto de datos fue re-analizado para producir una ecuación de regresión consistente con la ecuación del ACSM (i.e., solo una variable independiente [producción de potencia en kgm/min]). La muestra original consistió de 31 pacientes (8 mujeres y 23 hombres) pertenecientes al programa de rehabilitación cardíaca del hospital local así como también de los alrededores de la comunidad. Los pacientes se ofrecieron como voluntarios y dieron su consentimiento informado de acuerdo con el Comité de Revisión Institucional de la universidad y del hospital. Los valores medios y desviaciones estándar (con el rango) para la edad, masa corporal y talla de los pacientes son: 62.6 \pm 11.2 años (36-83), 83.0 \pm 17.4 kg (44.7-129.8), y 171.7 \pm 9.1 cm (154.3-185.4), respectivamente. Cada paciente fue pesado en una balanza con una precisión de 0.1 kg, y la talla fue medida con un estadiómetro sobre una escala médica, con una precisión de 0.5 cm. Veintiuno de los pacientes habían sido sometidos al procedimiento de bypass coronario y 12 de los pacientes habían sufrido infarto de miocardio. Al momento del estudio, todos los pacientes se encontraban en la Fase II o III del programa de rehabilitación cardíaca, o habían finalizado dicho programa y se encontraban realizando activamente un programa de acondicionamiento en sus hogares. Los pacientes mantuvieron su régimen de medicamentos durante las evaluaciones. Todos los pacientes habían sido dados de alta del hospital al menos 12 semanas antes del estudio, y los recientes tests de estrés mostraron que su condición era estable. Este estudio estuvo limitado a los pacientes clasificados como Clase I (> 6 METS) o Clase II (4 a 6 METS) de acuerdo con la clasificación de capacidad funcional de la Asociación Cardíaca de Nueva York.

Los pacientes realizaron dos visitas al laboratorio, una visita consistió de la familiarización de los sujetos con las instalaciones y la otra para realizar el protocolo de ejercicio. El protocolo de ejercicio fue llevado a cabo luego de que los sujetos ayunaran por un mínimo de 3 horas, luego de abstenerse de ingerir bebidas con cafeína por al menos 6 horas y evitaran la realización de ejercicios de alta intensidad por al menos 12 horas antes de la realización del test. Todos los tests fueron llevados a cabo en horas de la mañana y bajo la supervisión de un médico.

Los pacientes realizaron un test de ejercicio intermitente en un cicloergómetro de brazos (cicloergómetro Monark 868 fijado en la parte superior de una mesa y al cual se le quitaron los pedales) en etapas de 3 minutos que estuvieron separadas por períodos de recuperación de 2 minutos durante los cuales los sujetos permanecieron sentados. La altura del

ergómetro fue ajustada de manera tal que el mango de la palanca se encontrara a la altura del pecho de los sujetos y a una distancia suficiente que permitiera que el codo quedara ligeramente flexionado en el momento de la extensión. Se requirieron pequeños ajustes a lo largo del estudio para adecuar la posición del ergómetro a los diferentes tamaños corporales de los pacientes. El ergómetro fue calibrado cada 7 tests utilizando un peso conocido de referencia. No se requirieron ajustes durante el curso del estudio. Se utilizó un metrónomo electrónico conjuntamente con una señal auditiva para que los sujetos mantuvieran la tasa correcta de giro de la manivela, y se proporcionó retroalimentación verbal para ayudar a los pacientes a mantenerse dentro de las revoluciones objetivo. Se utilizó un tacómetro para contar las revoluciones, y las revoluciones contadas fueron utilizadas para calcular la potencia promedio en cada etapa de 3 minutos. El protocolo de ejercicio fue diseñado para comenzar con una producción de potencia de 150 kgm/min con incrementos de 150 kgm/min en cada etapa. La frecuencia de giro de la manivela fue establecida a 50 rpm, y durante el estudio el promedio fue de ~ 52 revoluciones por minuto. Varios pacientes no fueron capaces de mantener la tasa de pedaleo, lo cual resultó en que la carga alcanzada estuviera en el rango de 132.2 a 615.7 kgm/min. Los pacientes realizaron 52.4 ± 4.1 , 50.7 ± 4.7 , 53.1 ± 3.7 , y 50.7 ± 0.9 revoluciones/min entre las etapas 1 y 4, respectivamente.

El VO_2 fue medido en forma continua mediante la técnica de espirometría en circuito abierto. Las muestras de gases espirados fueron medidas cada 15 segundos a través de todo el protocolo de ejercicio con un Sistema de Medición SensorMedics Horizon calibrado inmediatamente antes de cada test utilizando preparados (4% CO_2 /16% O_2) de gases de calibración garantizados y comercialmente disponibles junto con preparados con 100% de N_2 y una precisión de $\pm 0.01\%$, para establecer un cero y una ganancia. El volumen del transductor fue calibrado para que entregara un volumen fijo a tres diferentes tasas de flujo. También se llevaron a cabo calibraciones de la presión barométrica y de la temperatura. Los pacientes utilizaron un clip nasal mientras respiraban por una válvula de dos vías Hans Rudolph. Para los análisis estadísticos se utilizaron los valores del consumo de oxígeno en mL/min medidos durante el último minuto de cada carga de trabajo. En todos los casos el estado estable en el VO_2 se alcanzó en el tercer minuto del test.

El VO_2 en estado estable en cada etapa de la evaluación fue comparado con los valores estimados obtenidos con la utilización de la nueva ecuación y con la ecuación del ACSM (6). Para evaluar las diferencias entre los valores reales y estimados se utilizó el análisis de varianza ANOVA de dos vías con un factor 3×4 [VO_2 (tres niveles fueron medidos, estimado con la ecuación del ACSM y estimado con la Nueva Ecuación) por etapa (4 niveles)]. Cuando se encontraba un estadístico F significativo, se utilizaba el análisis *post hoc* de Newman-Kuels para determinar las diferencias específicas. Se utilizó el análisis de regresión lineal simple para desarrollar la ecuación con la producción de potencia en kgm/min como variable independiente y las respuestas medidas del VO_2 como variable dependiente. La ecuación final fue desarrollada siguiendo procedimientos previamente utilizados (1, 2, 7). Este procedimiento consta en sustraer una estimación del gasto metabólico de reposo de los pacientes ($3.5 \text{ mL/kg/min} \times \text{masa corporal en kg}$) lo cual reduce el valor de la ordenada al origen de la ecuación. Característicamente, la ordenada al origen resulta en ser la estimación del gasto metabólico de reposo ($3.5 \text{ mL/kg/min} \times \text{masa corporal en kg}$) adicionando un costo de oxígeno adicional por encima de este valor.

RESULTADOS

El análisis de varianza ANOVA para medidas repetidas reveló que hubo diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las respuestas del VO_2 con cada producción de potencia. El VO_2 real fue significativamente menor que el VO_2 estimado con la ecuación del ACSM, pero no fue significativamente diferente del VO_2 estimado con la Nueva Ecuación. La ecuación del ACSM sobreestimó significativamente el VO_2 en esta muestra de pacientes cardíacos, en 105, 296 y 438 mL/min para las etapas 1-4, respectivamente (Figura 1). El sesgo promedio (diferencia entre el VO_2 real y el estimado) para la ecuación del ACSM fue de 311 mL/min, en comparación con el valor de 10 mL/min con la nueva ecuación para ergómetros de brazos revisada por el método de Lang et al (1). La nueva ecuación desarrollada a partir del análisis de regresión lineal: $VO_2 \text{ (mL/min)} = 2.16 * (\text{kgm/min}) + 285 \text{ mL/min}$ tiene un coeficiente de correlación $r = 0.94$ y un error estándar de estimación de 104 mL/min. La Figura 2 muestra la dispersión y la línea de identidad para los pares de valores de VO_2 real y estimado.

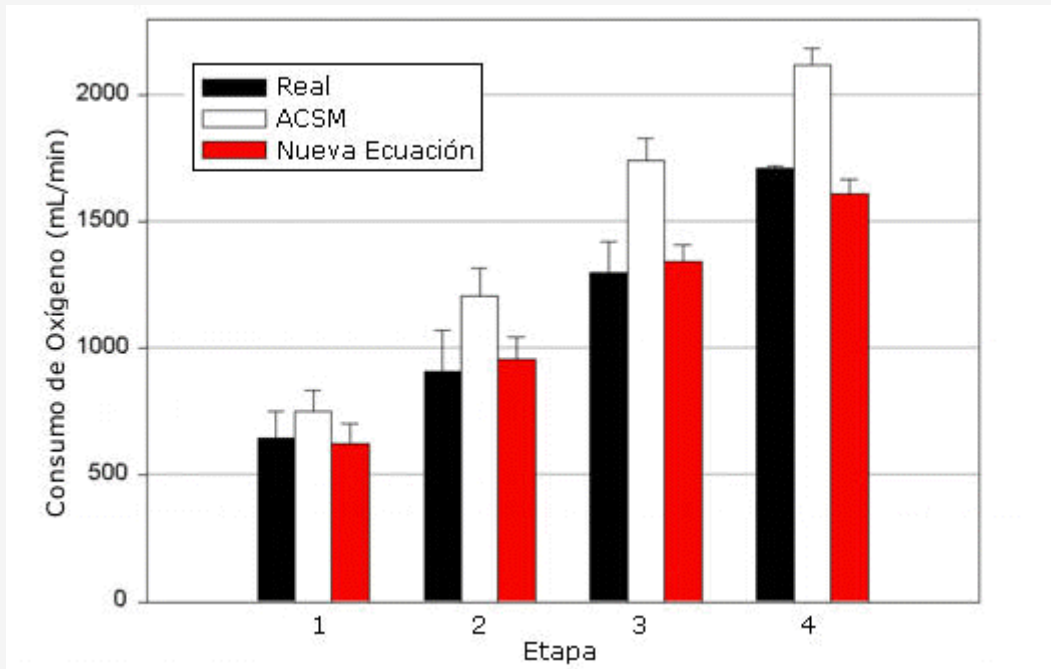


Figura 1. VO_2 medido vs. estimado utilizando la ecuación del ACSM y la nueva ecuación para ergómetros de brazos en cada una de las cuatro etapas de la ergometría de brazos. En cada etapa, la ecuación del ACSM sobreestimó significativamente ($p < 0.001$) el valor real.

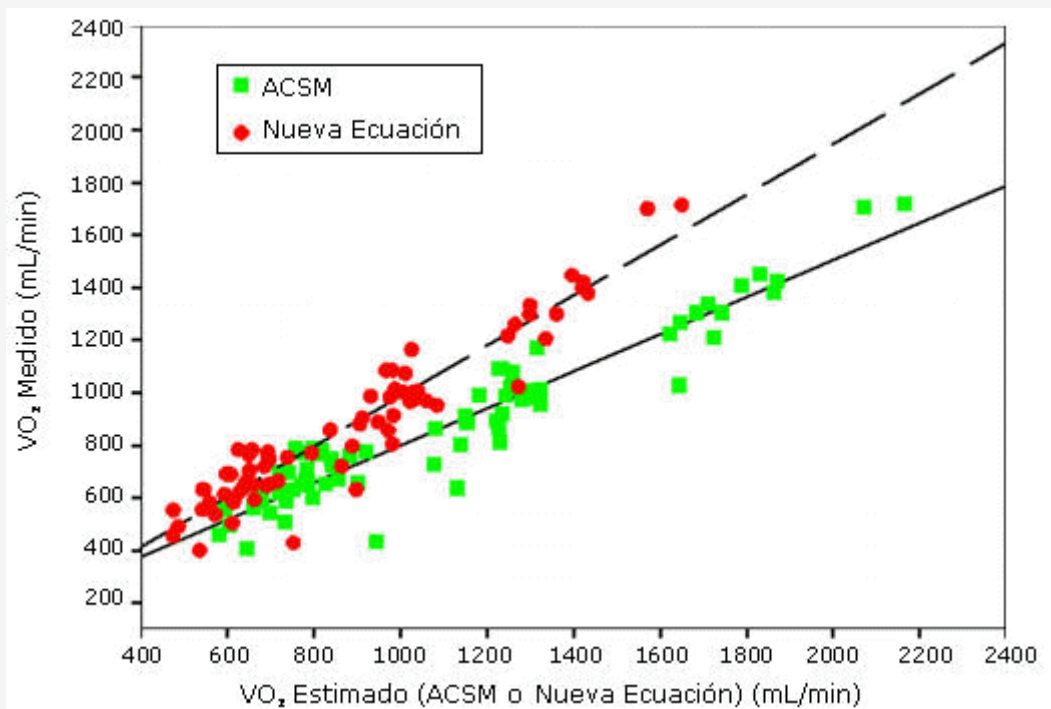


Figura 2. Dispersión y líneas de identidad para el VO_2 real y estimado (ACSM y Nueva Ecuación) (los datos están en pares, $n=70$).

DISCUSION

El sesgo medio para la ecuación del ACSM para ergómetros de brazos en el presente estudio fue mayor que el producido por la ecuación del ACSM para cicloergómetros aplicado a hombres obesos (8). La sobreestimación producida por la ecuación del ACSM para ergómetros de brazos en el presente estudio contrasta con la subestimación reportada en la literatura (9), aunque es aproximadamente de la misma magnitud. También se ha reportado que la ecuación del ACSM para cicloergómetros subestima el consumo de oxígeno (2, 3, 7). Si embargo, cuando se utiliza en pacientes cardíacos la ecuación del ACSM para cintas ergométricas ha mostrado sobreestimar progresivamente el VO_2 medido durante caminatas en cinta (10). Por lo tanto, la sobreestimación observada en el presente estudio, no es inusual y, probablemente es consecuencia de la población utilizada (i.e., sujetos con enfermedades).

La utilización de la ecuación del ACSM para estimar el VO_2 en esta población resulta en una sobreestimación que puede deberse al mayor componente anaeróbico en relación con el gasto energético total del ejercicio. El mayor componente anaeróbico se debe a las contracciones isométricas de la musculatura del tren superior observadas durante el trabajo de brazos en los cicloergómetros (11). Esto conjuntamente con la reducción del gasto cardíaco debido a una limitación en el bombeo cardíaco, lo cual en general es consecuencia de la enfermedad cardiovascular, son explicaciones probables de la sobreestimación observada aquí y en otros trabajos (10).

Una probable explicación adicional de la sobreestimación observada en el presente estudio es que el dispositivo utilizado fue un cicloergómetro Monark montado en una mesa. Este dispositivo tiene un mayor brazo de torque que el Monark Rehab Trainer que es el dispositivo más comúnmente utilizado para las evaluaciones con los brazos y para el entrenamiento en programas de rehabilitación cardíaca. El mayor brazo de torque es mecánicamente más eficiente, lo cual puede reducir el costo de oxígeno durante una ergometría de brazos.

En base a estos datos, la Tabla 1 compara las pendientes y las ordenadas al origen para una persona de 70 kg ejercitándose con los brazos a 300 kgm/min. Si bien las ordenadas al origen son casi idénticas, las pendientes son significativamente diferentes ($p < 0.05$). Debido a que la pendiente y la ordenada al origen de la ecuación del ACSM para ergómetros de brazos están basadas solo en constructos teóricos, y producen una diferencia en la estimación del VO_2 , la nueva ecuación puede proveer un cuadro más preciso de la relación entre el VO_2 y la producción de potencia durante una ergometría de brazos en poblaciones con enfermedades cardíacas. Luego de factorar una estimación del gasto metabólico de reposo por kg de masa corporal, el VO_2 adicional fue de aproximadamente 4 mL/min, lo cual resultó en la ecuación final: VO_2 (mL/min) = (kgm/min \times 2.16 mL/kgm) + (3.5 mL/kg/min \times kg de masa corporal) + 4 mL/min. Sin embargo, esta ecuación es específica de esta población y debería ser aplicada a individuos que tengan las mismas características demográficas que la muestra utilizada en este estudio. Además, la ecuación es utilizada con validez solo con producciones de potencia de entre 132 kgm/min y 615 kgm/min (a una frecuencia de aproximadamente 50 rpm) el cual es el rango de carga que los pacientes alcanzaron en este estudio.

La ecuación derivada en el presente estudio tiene una ordenada al origen de 285 mL/min, la cual es casi idéntica al valor del gasto metabólico de reposo (calculado como 3.5 mL/kg/min \times kg de masa corporal) en esta muestra de pacientes cardíacos. Como se menciona en la actual edición de la Guía del ACSM para la Prescripción del Ejercicio (6), es necesario incluir un término adicional en la ecuación para la ergometría de brazos, tal como el término adicional para pedaleo sin carga incluido en la ecuación para ergometría de piernas como 7 mL/kg/min, debido a la menor masa de los brazos. Por lo tanto los resultados del presente estudio parecen respaldar esta afirmación ya que solo hay una diferencia de 4 mL cuando se factora el VO_2 de reposo para obtener el costo de oxígeno de una ergometría de brazos. De esta manera, la adición de 4 mL a la estimación resultante es insignificante y probablemente no necesaria.

	Pendiente	Ordenada al Origen	Total
ACSM	900 mL	245 mL	1145 mL
Revisada	648 mL	249 mL	897 mL
Diferencia	252 mL	-4 mL	248 mL

Tabla 1. Pendientes y ordenadas al origen para una persona de 70 kg ejercitándose con los brazos a 300 kgm/min.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio demuestran la necesidad de realizar investigaciones adicionales para evaluar la nueva ecuación de predicción para ergómetros de brazos presentada aquí. Si bien los datos demuestran que la ecuación del ACSM no tuvo la precisión necesaria en esta muestra de pacientes cardíacos, se necesitan datos corroborativos a través de estudios de validación, antes de que se pueda recomendar la nueva ecuación. También se deberían realizar investigaciones adicionales utilizando el ergómetro Monark Rehab Trainer. Se deberían realizar comparaciones directas del costo de oxígeno durante una ergometría de brazos utilizando el Monark Rehab Trainer versus el ergómetro de piernas modificado, antes de recomendar la nueva ecuación presentada en este estudio.

Un importante hallazgo de esta investigación es que la ecuación del ACSM sobreestima el VO_2 cuando es utilizada en pacientes que se encuentran realizando un programa de rehabilitación cardíaca, y que una ecuación con una pendiente de 2.16 mL/kgm puede proveer al médico una determinación más precisa del costo de oxígeno de una ergometría de brazos. La sobreestimación es una preocupación en la práctica clínica ya que puede resultar en prescribir intensidades de ejercicio mayores al rango terapéutico. La nueva ecuación puede aplicarse a pacientes de cualquier sexo y a aquellos que se encuentran bajo medicación. Si bien estas preocupaciones fueron expresadas previamente en un artículo que presentó estos datos, la ecuación modelada posteriormente a la ecuación del ACSM, tal como la provista aquí, puede ser mucho más sencilla de utilizar para los médicos y el personal clínico que la ecuación desarrollada previamente (5).

Nota

Este estudio fue llevado a cabo originalmente en el Laboratorio de Rendimiento Humano, Departamento de Ejercicio, Ciencia y Manejo del Tiempo Libre de la Universidad de Mississippi.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Stanley P. Brown*, Department of Physical Therapy, Southwest Baptist University, Bolivar, MO 65613 Phone: (417)328 1672, Fax: (417)328 1658, correo electrónico: spbrown@sbuniv.edu.

REFERENCIAS

1. Lang PB, Latin RW, Berg KE, Mellion MB (1992). The accuracy of the ACSM cycle ergometry equation. *Med Sci Sports Exerc* 24:272-276
2. Latin RW, Berg KE (1994). The accuracy of the ACSM and a new cycle ergometry equation for young women. *Med Sci Sports Exerc* 26:642-646
3. Stanforth PR, Ruthven MD, Gagnon J, Bouchard C, Leon AS, Rao DC et al (1999). Accuracy of prediction equations to estimate submaximal VO_2 during cycle ergometry: The Heritage Family Study. *Med Sci Sports Exerc* 31:183-188
4. Fletcher GF, Cantwell JD, Watt EW (1979). Oxygen consumption and hemodynamic response of exercise used in training of patients with recent myocardial infarction. *Circulation*; 60:140-4
5. Brown SP, Wu Q, Chitwood LF, Anderson ER, Dahl E, DeLashmit S (1994). The prediction of oxygen consumption in cardiac rehabilitation patients during arm ergometry. *J Cardiopulmonary Rehab*; 14:181-8
6. American College of Sports Medicine (2000). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (6th ed.). *Baltimore: Williams and Wilkins*
7. Latin RW, Berg KE, Smith PR, Tolle P, Woodby-Brown S (1993). Validation of a cycle ergometry equation for predicting steady-rate VO_2 . *Med Sci Sports Exerc* 25:970-974
8. Andersen RE, Wadden TA (1995). Validation of a cycle ergometry equation for predicting steady-rate VO_2 in obese women. *Med Sci Sports Exerc* 27:1457-60
9. Allison TG, Reger WH, Millit HD (1988). Actual versus ACSM-predicted VO_2 for the Monark rehab trainer. *Med Sci Sports Exerc* 20:S1.
10. Toner MM, Glickman EL, McArdle WD (1990). Cardiovascular adjustments to exercise distributed between the upper and lower body. *Med Sci Sports Exerc* 22:773-778

Cita Original

Stanley P. Brown Prediction Of Oxygen Consumption In Cardiac Rehabilitation Patients Performing Arm Ergometry. *JEPonline*, 3(4):74-80, 2000