

Monograph

Relación entre el Porcentaje de Frecuencia Cardíaca de Reserva y el Porcentaje de VO₂máx de Reserva durante Ejercicio en Elíptico

Len Kravitz² y Lance C Dalleck¹¹Human Performance Laboratory, University of Wisconsin - Eau Claire, Eau Claire, WI USA.²Exercise Physiology Laboratories, University of New Mexico, Albuquerque, NM, USA.

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue determinar la relación entre el %HRR vs %VO₂R y entre el %HRR vs %VO₂máx durante la realización de ejercicio máximo en elíptico (ECT). Un objetivo secundario fue comparar las relaciones entre el %HRR vs %VO₂R y entre el %HRR vs %VO₂máx durante la realización de ejercicio en ECT y ejercicio en cinta ergométrica (TM). Los sujetos adultos (n = 48) completaron un test de ejercicio máximo en el ECT, y un subgrupo (n = 24) también realizó un test de ejercicio en TM. Los datos de la HR y el VO₂ recolectados en forma continua fueron analizados mediante regresión lineal para determinar los valores de la pendiente y la ordenada al origen de la relación %HRR vs %VO₂R y de la relación %HRR vs %VO₂máx. Se utilizó la prueba t de Student para determinar si los valores medios de la ordenada al origen y de la pendiente diferían de la línea de identidad (ordenada al origen = 0, pendiente = 1). Para cada grupo, tanto la ordenada al origen como la pendiente de la relación %HRR vs %VO₂R se ajustaron a la línea de identidad. A la inversa, en todos los grupos tanto la ordenada al origen como la pendiente de la relación %HRR vs %VO₂máx fueron significativamente diferentes (p<0.001) de la línea de identidad (ordenada al origen ≠ 0, pendiente ≠ 1). La comparación de las regresiones de la relación %HRR vs %VO₂R entre los modos de ejercicio mostró diferencias significativas (p>0.05) respecto de los valores de la ordenada al origen (ECT = 0.3 vs. TM = -0.3, p = 0.435) y de la pendiente (ECT = 1.01 vs. TM = 1.00, p = 0.079). En concordancia con investigaciones previas acerca del ejercicio en TM y en cicloergómetro, se halló que el %HRR se relaciona más estrechamente con el %VO₂R más que con el %VO₂máx durante el ejercicio en ECT. Además, se halló que las regresiones de las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx fueron equivalentes entre el ejercicio en ECT y el ejercicio en TM.

Palabras Clave: modo de ejercicio, prescripción de ejercicio

INTRODUCCION

La capacidad para prescribir con precisión la intensidad de ejercicio es un aspecto fundamental de la fisiología del ejercicio, y en general los profesionales del ejercicio frecuentemente dependen de múltiples métodos para establecer las cargas de trabajo objetivos, incluyendo entre estos el porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (%HRmáx), de la frecuencia cardíaca de reserva (%HRR) y del consumo máximo de oxígeno (%VO₂máx) (ACSM-American College of Sports

Medicine, 1995). Tradicionalmente, se aceptó que el %HRR era equivalente al %VO₂máx (American College of Sports Medicine, 2006), sin embargo, investigaciones más recientes han mostrado que el %HRR tiene una relación más estrecha con el porcentaje del consumo de oxígeno de reserva (%VO₂R). Estos hallazgos han sido obtenidos tanto con poblaciones de sujetos jóvenes y ancianos saludables (Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998), como en poblaciones de sujetos con enfermedades (Brawner et al., 2002).

Swain y Leutholtz (1997) fueron los primeros en reportar que el %HRR es equivalente al %VO₂R, y no al %VO₂máx, durante la realización de ciclismo en hombres y mujeres jóvenes saludables. Estos hallazgos fueron confirmados por Swain et al (1998) en jóvenes saludables durante la realización de ejercicio en cinta ergométrica, aunque la regresión entre el %HRR y el %VO₂R difirió estadísticamente de la línea de identidad. Similarmente, Brawner et al (2002) demostraron que la relación entre el %HRR y el %VO₂R, aunque estadísticamente diferente, es más próxima a la línea de identidad que la relación entre el %HRR y el %VO₂máx durante el ejercicio en cinta ergométrica en pacientes cardíacos. Los autores sugirieron que puede haber un efecto del modo de ejercicio (cinta ergométrica vs cicloergómetro), lo cual podría explicar las diferencias respecto de la línea de identidad entre los estudios. No obstante, estos autores mencionaron que el trabajo de Davis y Covertino (1975) contradice el efecto del modo de ejercicio, aunque para nuestro conocimiento, no existe investigación que compare directamente la relación entre el %HRR y el %VO₂R en diferentes modos de ejercicio.

Si bien la cinta ergométrica y el cicloergómetro se encuentran entre las formas más comunes de ejercicio, los escaladores elípticos se han vuelto progresivamente más populares en los últimos años como una modalidad alternativa de ejercicio aeróbico en los centros de "fitness" y rehabilitación (Green et al., 2004). Hasta la fecha, se han llevado pocas investigaciones acerca de este modo de ejercicio; sin embargo, los resultados de un estudio sugieren que la respuesta de la frecuencia cardíaca al ejercicio en escalador elíptico y en cinta ergométrica son similares, cuando el ejercicio se realiza a un nivel equivalente de esfuerzo percibido (RPE) (Green et al., 2004). La incrementada popularidad del ejercicio en escalador elíptico conjuntamente con la necesidad de un mayor entendimiento respecto de las relaciones entre el %HRR vs %VO₂R y entre el %HRR y el %VO₂máx para una más precisa prescripción del ejercicio han promovido la presente investigación.

El objetivo principal de este estudio fue determinar las relaciones entre el %HRR vs %VO₂R y entre el %HRR y el %VO₂máx durante la realización de ejercicio máximo en escalador elíptico. Se hipotetizó que el %HRR es equivalente al %VO₂R y no al %VO₂máx. Si bien investigaciones previas (Brawner et al., 2002; Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998) han establecido que el %HRR está más estrechamente relacionado con el %VO₂R, más que con el %VO₂máx, solo un estudio (Swain and Leutholtz, 1997) ha reportado que la ordenada al origen y la pendiente de la relación entre el %HRR vs el %VO₂R se ajustan a la línea de identidad ($p > 0.05$). Consecuentemente, si bien la utilización de la relación entre el %HRR y el %VO₂R puede ser más adecuada que la utilización de la relación entre el %HRR y el %VO₂máx para la prescripción del ejercicio, todavía puede haber un error medible cuando se utiliza esta aproximación. Además, sigue siendo poco claro si el modo de ejercicio influencia la naturaleza de las relaciones entre el %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx. Un objetivo secundario de este estudio fue comparar las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx entre el ejercicio en cinta ergométrica y el ejercicio en escalador elíptico. Se hipotetizó que no habría diferencias significativas en las relaciones entre las dos modalidades de ejercicio.

MÉTODOS

Sujetos

Un total de 48 sujetos (24 mujeres, 24 hombres) familiarizados con el ejercicio en escalador elíptico y en cinta ergométrica, fueron reclutados entre la población de estudiantes y miembros de la universidad así como también de la comunidad de los alrededores. Los sujetos proveyeron su consentimiento por escrito y completaron un cuestionario sobre su historial de salud antes de ser aceptados en el estudio. Todos los sujetos eran aparentemente saludables según las definiciones establecidas por el ACSM (2006). Asimismo, todos los sujetos indicaron en su historial de salud que cumplían con los requisitos mínimos para realizar actividad aeróbica de intensidad moderada en forma regular (al menos 3 min por semana) tal como lo establece el ACSM (2006). El Comité de Revisión Institucional para la Utilización de Sujetos Humanos aprobó el estudio. Las características de los sujetos se presentan en la Tabla 1.

Grupo	n	Edad (años)	Talla (m)	Peso (kg)	%Grasa
Ejercicio en Escalador Elíptico	48	30.6 (7.8)	1.72 (0.10)	74.3 (14.2)	19.2 (7.1)
Mujeres	24	32.1 (8.6)	1.64 (0.07)	64.4 (9.5)	23.1 (6.4)
Hombres	24	29.2 (6.8)	1.80 (0.07)	84.2 (10.7)	15.2 (5.3)
Ejercicio en Escalador Elíptico/Cinta Ergométrica	24	29.6 (7.4)	1.74 (0.12)	74.1 (15.3)	18.2 (6.1)
Mujeres	12	31.7 (9.2)	1.65 (0.08)	62.7 (8.9)	21.5 (5.1)
Hombres	12	27.6 (4.6)	1.83 (0.07)	85.5 (11.2)	14.9 (5.3)

Tabla 1. Características físicas de los sujetos. Los datos son medias (\pm DE)

Procedimientos Pre-Evaluación

Los sujetos fueron instruidos para que evitaran consumir alimentos en las cuatro horas previas a la evaluación y que evitaran realizar ejercicios vigorosos en las 12 horas previas. Los sujetos fueron pesados en una balanza médica con una precisión de 0.1 kg y se les midió su talla en un estadiómetro con una precisión de 0.5 cm. La temperatura promedio a través de las evaluaciones fue de 21.4 ± 0.5 °C. El porcentaje de grasa fue determinado a través de la medición de pliegues cutáneos (Jackson and Pollock, 1985). Los pliegues cutáneos fueron medidos con una precisión de ± 0.5 mm utilizando un calibre Lange (Cambridge Scientific Industries, Columbia, Maryland, USA). Tanto en los hombres como en las mujeres, todas las mediciones fueron llevadas a cabo en el lado derecho del cuerpo en sitios anatómicos estandarizados (tres sitios). Estas mediciones fueron llevadas a cabo hasta que dos de ellas estuvieran dentro del 10% una de otra.

Protocolos para la Evaluación del Ejercicio

Cada sujeto ($n = 48$) completó un test progresivo máximo de ejercicio, con etapas de 1 minuto en el mismo Escalador Elíptico Precor EFX 456 (Precor Inc., Woodinville, WA). Los componentes de la carga de trabajo en el escalador elíptico incluyeron la cadencia, inclinación y resistencia, la cuales tienen un rango de valores de 1-20 unidades, 1-20 unidades y 0-300 zancadas/min, respectivamente. La longitud de la zancada del Escalador Elíptico Precor EFX 546 utilizado en el presente estudio fue de 48 cm. De acuerdo con el diseño de cuadrados latinos, se seleccionó un subgrupo de hombres ($n = 12$) y mujeres ($n = 12$) del grupo total (Figura 1) que realizaron también un test progresivo máximo de ejercicio con etapas de 1 min (Protocolo Modificado de Balke) en una cinta ergométrica motorizada (SensorMedics 2000, Yorba Linda, CA). Para los sujetos que realizaron ejercicio tanto en el escalador elíptico como en la cinta ergométrica, las sesiones de evaluación estuvieron separadas por al menos 24 horas para minimizar los efectos de la fatiga. Asimismo, el orden de las evaluaciones fue aleatorio, en concordancia con el diseño de Cuadrados Latinos, para evitar un efecto del orden y cancelar el potencial efecto de la fatiga. El consumo máximo de oxígeno fue definido como el mayor valor de VO_2 obtenido en cualquier período continuo de 30 segundos, siempre que el índice de intercambio respiratorio (RER) fuera >1.10 . La frecuencia cardíaca máxima fue definida como el mayor valor registrado durante cualquier período continuo de 30 segundos durante el ejercicio. Los protocolos de ambos modos de ejercicio fueron diseñados para que duraran aproximadamente 8-12 min (Buchfuhrer et al., 1983).

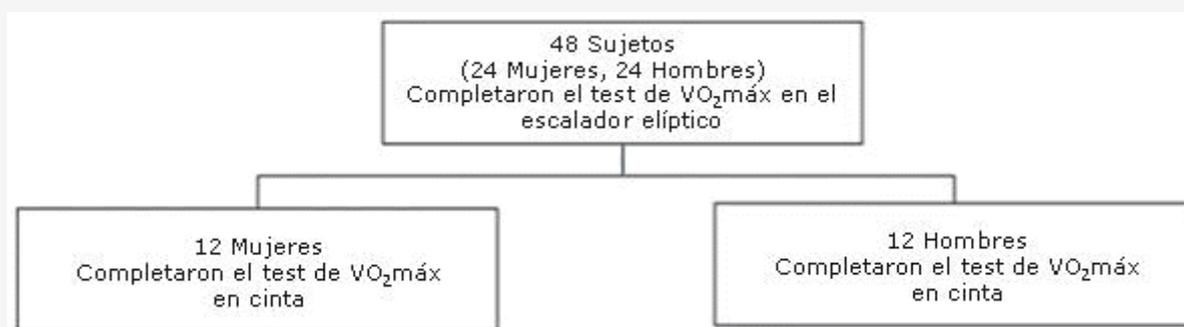


Figura 1. Diseño del estudio que refleja la distribución experimental de los sujetos.

Protocolo de Ejercicio en el Escalador Elíptico

Luego de que cada sujeto realizara una entrevista y una revisión médica, se llevó a cabo un protocolo específico para la medición del VO_2 máx en el escalador elíptico (Figura 2), el cual fue seleccionado en base al sexo y a la participación en actividades aeróbicas de cada sujeto: entrenados (ejercicio aeróbico 3-5 horas/semanas) y recreacionalmente activos (ejercicio aeróbico 2-3 horas/semana). Luego de la medición de los gases espirados en reposo durante 5 min, se llevó a cabo una entrada en calor de 2 minutos con una carga ligera antes del comienzo de la prueba. La Figura 2 muestra como se estableció la intensidad para la medición del VO_2 máx en cada protocolo de ejercicio en el escalador elíptico y como progresó la evaluación mediante incrementos ya sea en las zancadas por minuto y/o en la resistencia. La inclinación (pendiente) se mantuvo en el nivel 6 durante todo el test para todos los protocolos de medición del VO_2 máx. Se utilizó un metrónomo para asegurar una cadencia correcta de zancadas por minuto. La inclinación se mantuvo constante al nivel 6 a través de toda la prueba para la determinación del VO_2 máx para eliminar cualquier variabilidad potencial en la calibración de la máquina y para eliminar cualquier efecto que la inclinación pudiera provocar sobre cualquiera de los parámetros fisiológicos. Sin embargo, la calibración del parámetro carga de trabajo estuvo bajo el control propietario de la compañía fabricante y se supuso que este parámetro de la carga de trabajo fue preciso a través de los protocolos de evaluación del VO_2 máx. El criterio para la finalización del ejercicio fue que el participante no pudiera mantenerse dentro de las 20 zancadas/min de la cadencia objetivo o el agotamiento volitivo. Luego de realizar todos los test de ejercicio máximo (en ambas modalidades de ejercicio) cada sujeto se ejercitó a una intensidad seleccionada por él mismo hasta que la frecuencia cardíaca fuera menor a los 120 latidos/min.

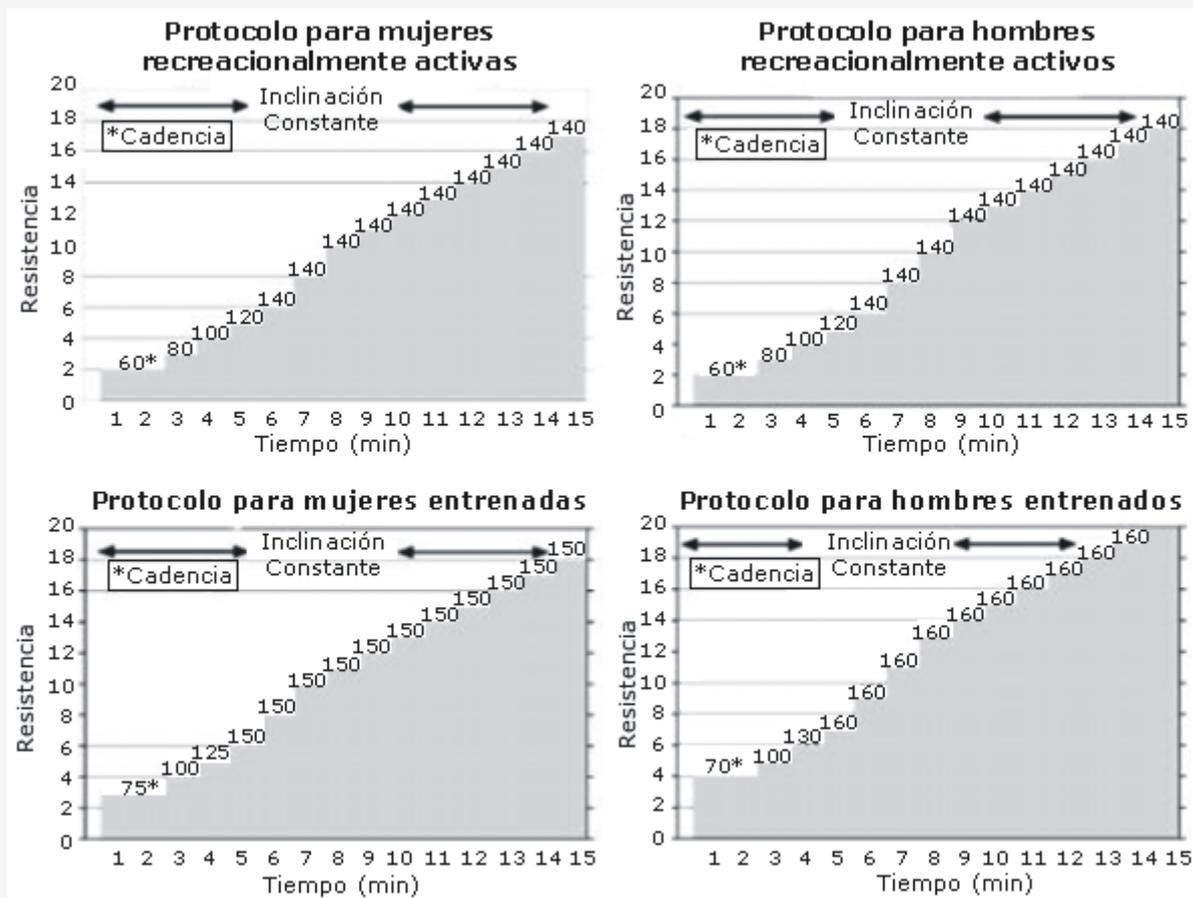


Figura 2. Protocolo del test de VO_2 máx en escalador elíptico

Protocolo en Cinta Ergométrica

En la cinta ergométrica, se utilizó una modificación del protocolo de Balke en el cual los sujetos seleccionaron una velocidad de carrera cómoda que pudieran mantener durante todo el test. Luego de medir los gases espirados en reposo durante 5 min, los sujetos comenzaron a correr a una velocidad progresivamente mayor hasta alcanzar la velocidad seleccionada dentro de los primeros 2 minutos del test, la cual fue entonces mantenida hasta la finalización del mismo. Los primeros tres minutos del test fueron llevados a cabo con una inclinación del 0%, y a partir de allí se incrementó la inclinación en un 1% a cada minuto hasta que los sujetos alcanzaran el agotamiento (Figura 3).

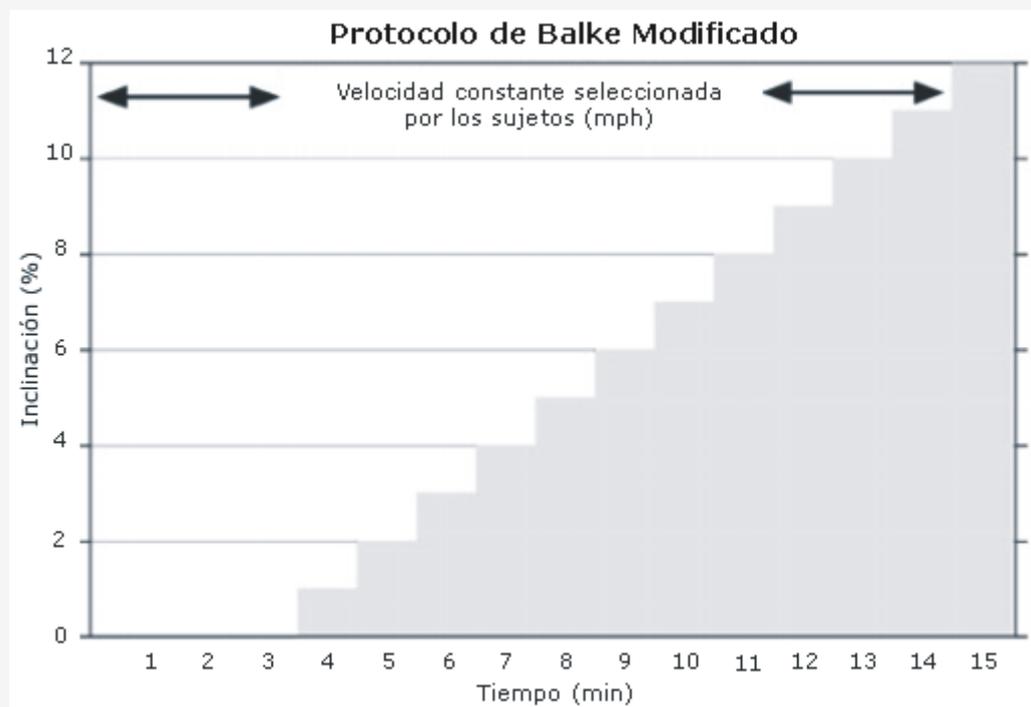


Figura 3. Protocolo de Balke modificado para la medición del $VO_{2\text{máx}}$ en cinta ergométrica.

Recolección y Análisis de los Datos Metabólicos

Los sujetos utilizaron un broche nasal y una boquilla de tres vías (Hans Rudolph Inc., Kansas City, MO) de manera que los datos del intercambio gaseoso pudieran ser registrados y analizados. Durante el test de ejercicio el VO_2 , VCO_2 , VE y el índice de intercambio respiratorio (RER) fueron medidos respiración por respiración utilizando una turbina de transducción de flujo de alta velocidad (K.L. Engineering Model S-430, Van Nuys, CA) y un programa desarrollado especialmente con analizadores electrónicos de oxígeno y dióxido de carbono AEI (AEI Technologies, Model S-3A and Model CD-3H, Pittsburgh, PA). Las señales crudas fueron adquiridas a través de una caja de derivación mediante una computadora y fueron integradas con una tarjeta de adquisición de datos (National Instruments, Austin, Texas). La turbina de transducción de flujo fue calibrada antes de cada sesión de evaluación utilizando una jeringa de 3.0 L. Los analizadores de oxígeno y dióxido de carbono también fueron calibrados antes de cada sesión de evaluación utilizando gases de concentraciones conocidas. Todos los datos respiración por respiración fueron suavizados utilizando el promedio móvil de siete respiraciones y luego promediados en intervalos de muestreo de 30 segundos. La frecuencia cardíaca y el electrocardiograma fueron monitoreados continuamente (Quinton 4000, Quinton, Seattle, WA) utilizando un ECG de 3 derivaciones. Antes de los tests de ejercicio máximo, los sujetos descansaron durante 5 minutos mientras se recolectaban los datos del intercambio respiratorio y de la frecuencia cardíaca. Se registraron los valores promedio de la frecuencia cardíaca y del VO_2 en los últimos 2 min de este período los cuales fueron considerados como los valores de reposo. Para los sujetos que realizaron ambas modalidades de ejercicio, los dos conjuntos de datos de reposo obtenidos fueron agrupados y promediados. Los porcentajes de la HRR, VO_{2R} y $VO_{2\text{máx}}$ fueron calculados a partir de los valores de la frecuencia cardíaca y VO_2 medidos durante los últimos 30 segundos de cada etapa.

Análisis Estadísticos

Todos los procedimientos estadísticos fueron llevados a cabo utilizando el programa SPSS (Version 13.0 SPSS for

Windows, SPSS Inc., Chicago, IL). La decisión de utilizar la regresión lineal en lugar de la regresión no lineal, se basó en los análisis estadísticos (regresión lineal) utilizados por otros investigadores para describir las relaciones %HRR vs $VO_{2\text{máx}}$ y %HRR vs % $VO_{2\text{máx}}$ (Brawner et al., 2002; Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998).

Antes de realizar cualquier análisis de los datos, se realizaron tests diagnósticos para detectar valores atípicos u observaciones que se alejaran del comportamiento promedio. La suposición de normalidad fue determinada mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y a partir de la inspección visual de la gráfica de normalidad. Se llevaron a cabo dos regresiones lineales para cada sujeto individual: 1) los valores de %HRR vs % VO_{2R} y 2) los valores de %HRR vs % $VO_{2\text{máx}}$. Para cada prueba individual se ingresaron en el análisis de regresión lineal, los datos obtenidos en el período de reposo, al final de cada etapa y los valores máximos. Se determinaron los valores medios (\pm EE) de las ordenadas al origen, pendientes y coeficientes de correlación r de Pearson para dos series de regresiones. Se utilizó la prueba t de Student (a dos colas) para determinar si los valores medios grupales de la ordenada al origen y de la pendiente diferían significativamente de la línea de identidad (ordenada al origen = 0; pendiente = 1). Para comparar las dos modalidades de ejercicio, también se utilizó la prueba t de Student (a dos colas) para determinar si las pendientes y las ordenadas al origen eran significativamente diferentes entre sí. Además, se utilizó la prueba t para datos apareados (a dos colas) para determinar si habían diferencias significativas en las respuestas máximas entre las dos modalidades de ejercicio. Por último, se utilizó la correlación r de Pearson para determinar si había una correlación inversa significativa entre el $VO_{2\text{máx}}$ y los valores de la ordenada al origen de la relación %HRR vs % $VO_{2\text{máx}}$ en cada uno de los grupos. La probabilidad de cometer un error Tipo I fue establecida a $p < 0.05$ para todos los análisis estadísticos. En el evento de múltiples análisis, se realizó el ajuste de Bonferroni del nivel alfa.

Efecto del Tamaño y Fortaleza Estadística: Se examinaron las medias y desviaciones estándar de los estudios previos (Brawner et al., 2002; Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998) y se calcularon los efectos del tamaño de estos estudios. Asumiendo que se necesitaba una fortaleza estadística de 0.80 y que los efectos del tamaño calculados para las relaciones %HRR vs % VO_{2R} y %HRR vs % $VO_{2\text{máx}}$ eran de 0.8, se determinó que se hubieran necesitado aproximadamente 25 sujetos para cada modalidad de ejercicio (Cohen, 1988).

RESULTADOS

Las características fisiológicas de los sujetos se presentan en la Tabla 2. La comparación de los valores medios del $VO_{2\text{máx}}$, $HR_{\text{máx}}$ y $RER_{\text{máx}}$ mostró que no hubo respuestas fisiológicas significativamente diferentes al ejercicio máximo entre las modalidades de ejercicio: $VO_{2\text{max}}$, $t(23) = 0.431$, $p = 0.671$; HR_{max} , $t(23) = 1.328$, $p = 0.197$; y RER_{max} , $t(23) = -0.452$, $p = 0.656$. Asimismo, no hubo diferencias significativas en la duración media de los protocolos, $t(23) = -1.789$, $p = 0.087$. Los sujetos requirieron un tiempo promedio de 11.3 min para completar la prueba en cinta ergométrica mientras que requirieron 11.9 min para completar la prueba en el escalador elíptico.

Grupo	n	HR de Reposo (latidos/min)	HRmáx (latidos/min)	RERmáx	VO ₂ de Reposo (mL/kg/min)	VO ₂ máx (mL/kg/min)
Grupo Ejercicio en Elíptico	48	78 (10)	184 (9)	1.23 (0.06)	3.7 (6.4)	43.2 (7.0)
Mujeres	24	80 (11)	184 (10)	1.21 (0.06)	3.6 (0.4)	39.7 (5.5)
Hombres	24	77 (10)	183 (8)	1.25 (0.06)	3.7 (0.3)	46.7 (6.7)
Subgrupo Ejercicio en Elíptico	24	78 (10)	183 (9) *	1.23 (0.06) *	3.7 (0.4)	44.3 (6.9) *
Mujeres	12	78 (9)	182 (9)	1.22 (0.06)	3.6 (0.4)	40.4 (6.1)
Hombres	12	78 (11)	183 (9)	1.25 (0.05)	3.7 (0.3)	48.2 (5.5)
Subgrupo Ejercicio en Cinta	24	78 (10)	184 (8) *	1.23 (0.07) *	3.7 (0.4)	44.6 (7.4) *
Mujeres	12	78 (9)	183 (8)	1.23 (0.07)	3.6 (0.4)	41.1 (7.1)
Hombres	12	78 (11)	185 (8)	1.23 (0.08)	3.7 (0.3)	48.2 (6.1)

Tabla 2. Características fisiológicas de los sujetos. Los datos son medias (\pm DE). * $p > 0.05$ entre el subgrupo escalador elíptico vs subgrupo cinta ergométrica.

Los resultados de los análisis de regresión para el %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx en el grupo que se ejercitó en el escalador elíptico, para el subgrupo que se ejercitó en el escalador elíptico y para el grupo que se ejercitó en cinta ergométrica se presentan en la Tabla 3. En todos los grupos, tanto la ordenada al origen como la pendiente de la relación %HRR vs %VO₂R se ajustaron a la línea de identidad (ordenada al origen = 0; pendiente = 1). A la inversa en todos los grupos, tanto la ordenada al origen como la pendiente de la relación %HRR vs %VO₂máx fueron significativamente diferentes ($p < 0.001$) de la línea de identidad (ordenada al origen $\neq 0$, pendiente $\neq 1$). Las líneas de regresión se muestran en la Figura 4.

	Grupo Ejercicio en Escalador Elíptico (n = 48)	Subgrupo Ejercicio en Escalador Elíptico (n = 24)	Subgrupo Ejercicio en Cinta Ergométrica (n = 24)
%HRR vs %VO ₂ máx			
Ordenada al Origen (%)	-9.3 (0.6) *	-9.9 (0.9) *	-10.0 (0.7) *
Pendiente	1.11 (0.01) †	1.12 (0.01) †	1.10 (0.01) †
%HRR vs %VO ₂ R			
Ordenada al Origen (%)	0.7 (0.5)	0.3 (0.6)	-0.3 (0.5)
Pendiente	1.01 (0.01)	1.01 (0.01)	1.00 (0.01)

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión lineal para el grupo que se ejercitó en el escalador elíptico y para el subgrupo que se ejercitó en escalador elíptico y en cinta ergométrica. Los datos son medias (\pm EE). * $p < 0.001$ para la ordenada al origen = 0; † $p < 0.001$ para la pendiente = 1.

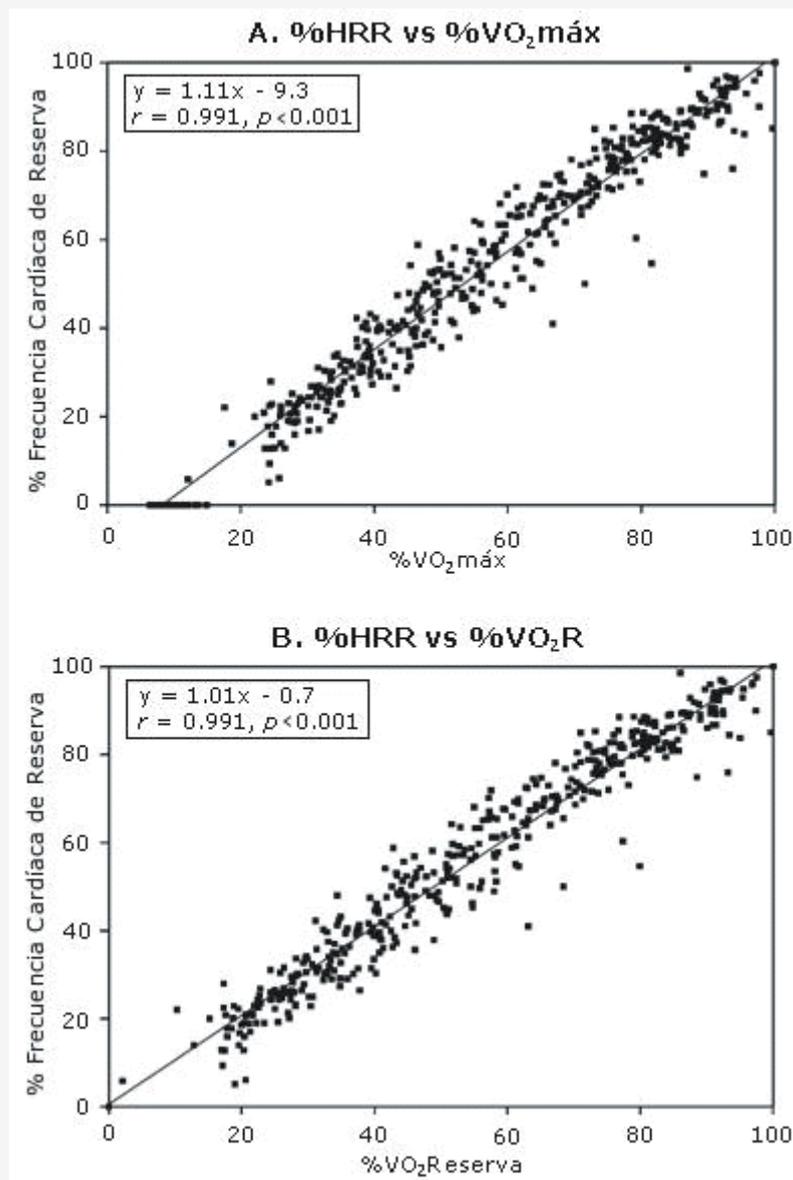


Figura 4. Dispersión y regresiones de (A; n = 48) %HRR vs %VO₂máx y (B; n = 48) %HRR vs %VO₂R para el grupo que se ejercitó en el escalador elíptico.

La comparación de las regresiones %HRR vs %VO₂R entre las modalidades de ejercicio (TM vs ECT), reveló que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto de los valores de la ordenada al origen (ECT = 0.3 vs. TM = -0.3, $t(23) = 0.794$, $p = 0.435$) y de la pendiente (ECT = 1.01 vs. TM = 1.00, $t(23) = -1.838$, $p = 0.079$). Similarmente, no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las modalidades de ejercicio (TM vs ECT) respecto de los valores de la ordenada al origen (ECT = -9.9 vs. TM = -10.0, $t(23) = -0.151$, $p = 0.881$) y de la pendiente (ECT = 1.12 vs. TM = 1.10, $t(23) = -1.888$, $p = 0.072$) para la regresión %HRR vs %VO₂máx. Las líneas de regresión para la comparación de las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx entre las modalidades de ejercicio se muestran en la Figura 5.

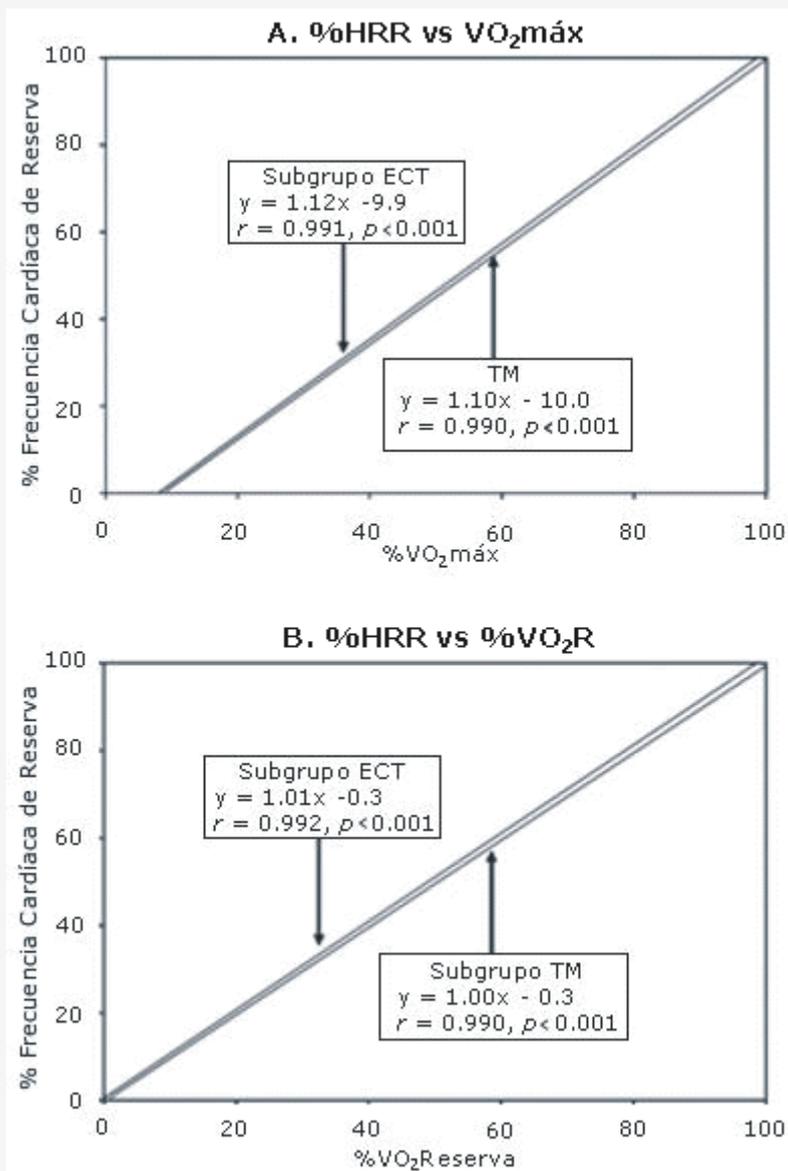


Figura 5. Líneas y ecuación de regresión para la comparación entre el grupo que se ejercitó en el escalador elíptico (ECT) y el subgrupo que se ejercitó en cinta ergométrica (TM) respecto de (A; n = 24) %HRR vs %VO₂máx y (B; n = 24) %HRR vs %VO₂R.

Los análisis de correlación revelaron una correlación inversa significativa entre el VO₂máx y los valores de la ordenada al origen de la relación %HRR vs %VO₂máx en el grupo que se ejercitó en el escalador elíptico ($r = 0.55, p < 0.01$) así como también en el subgrupo que se ejercitó en el escalador elíptico ($r = 0.53, p < 0.01$) y en cinta ergométrica ($r = 0.55, p < 0.01$)

DISCUSION

El principal hallazgo del presente estudio es que el %HRR está más estrechamente correlacionado con el %VO₂R que con el %VO₂máx durante la realización de ejercicio máximo en escalador elíptico. Similares resultados han sido previamente reportados para el ejercicio tanto en cinta ergométrica como en cicloergómetro (Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998). Swain and Leutholtz (1997) hallaron que durante el ejercicio de ciclismo, la relación %HRR vs %VO₂máx tiene una discrepancia significativa con la línea de identidad que no es evidente con la relación %HRR vs %VO₂R. Del mismo modo, Swain et al (1998) y Brawner et al (2002) determinaron que la relación %HRR vs %VO₂R se ajusta a la línea de referencia de mejor manera que la relación %HRR vs %VO₂máx durante el ejercicio en cinta ergométrica en sujetos saludables y en

pacientes cardíacos. Nuestros datos extienden este principio al ejercicio en escalador elíptico, el cual es un modo de ejercicio relativamente nuevo pero común.

El objetivo secundario del presente estudio fue entender mejor la influencia del modo de ejercicio sobre las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx durante la realización de ejercicios en escalador elíptico y en cinta ergométrica. Swain et al (1998) sugirieron que la razón por la cual la regresión %HRR vs %VO₂R se ajusta a la línea de identidad durante el ejercicio de ciclismo pero no durante el ejercicio en cinta ergométrica, puede estar relacionada con el modo de ejercicio. Sin embargo, estos autores descartaron el efecto del modo de ejercicio en base a los anteriores hallazgos realizados por Davis y Covertino (1975). Los hallazgos del presente estudio están en acuerdo con esta afirmación. Nuestros datos mostraron que no hay diferencias significativas en las regresiones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx entre el ejercicio en escalador elíptico y el ejercicio en cinta ergométrica. Asimismo, no hubo diferencias significativas respecto de la línea de identidad (pendiente = 1; ordenada al origen = 0) para la relación %HRR vs %VO₂R durante el ejercicio en cinta ergométrica. Swain et al (1998) postularon que las elevadas temperaturas observadas durante su estudio pudieron ser responsables de las diferencias significativas en la regresión %HRR vs %VO₂R durante el ejercicio en cinta ergométrica. Esta interpretación puede ser más probable debido a que nuestras condiciones de temperatura (21.4 °C) fueron más similares a las del estudio de ejercicio en cicloergómetro (21.8 °C) llevado a cabo por Swain y Leutholtz (1997) que a las del estudio sobre ejercicio en cinta (25.0 °C) llevado a cabo por Swain et al (1998).

En general se cree que el ejercicio en cinta ergométrica provoca los mayores valores de VO₂máx en individuos desentrenados y recreacionalmente activos, aunque diversos estudios, incluyendo la presente investigación, han mostrado que pueden obtenerse similares valores de VO₂máx a partir de diferentes modos de ejercicio. Haug et al (1999) reportaron que no hubo diferencias significativas entre los valores de VO₂máx obtenidos en cinta ergométrica (42.6 mL/kg/min) y en un simulador de esquí cross country estilo nórdico (42.5 mL/kg/min) tanto en hombres y mujeres de diversos niveles de aptitud física y experiencia en el esquí cross country. Del mismo modo, similares valores de VO₂máx fueron reportados para el ejercicio en cinta ergométrica (52.6 mL/kg/min) y en un escalador Versa (53.9 mL/kg/min), un dispositivo que simula la escalada con brazos y piernas, en remeros y timoneles universitarios (Brahler and Blank, 1995). Nuestros hallazgos también mostraron similares valores de HRmáx y RERmáx entre el ejercicio máximo en cinta ergométrica y en escalador elíptico. Si bien la recolección de los datos en el presente estudio fue llevada a cabo en el Escalador Elíptico Percor EFX 546, hay otros modelos de escalador elíptico que están siendo utilizados en los gimnasios y centros de rehabilitación. Como se señala en otros estudios (Haug et al., 1999) la calibración entre los diferentes modelos puede variar considerablemente, limitando la aplicación de los hallazgos de investigación relacionados con las similares respuestas fisiológicas al ejercicio máximo en cinta ergométrica y en escalador elíptico al modelo específico utilizado en el estudio.

En la presente investigación, las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx fueron descritas utilizando el análisis de regresión lineal. Sin embargo, la regresión no lineal entre la HR y el VO₂ descrita en la literatura amerita su discusión. La relación HR-VO₂ ha sido descrita por varios investigadores (Bunc et al., 1995; Hofmann et al., 1994; Hofmann et al., 1997a) como lineal a bajas intensidades para exhibir posteriormente un umbral y un cambio en la pendiente a mayores intensidades de ejercicio. Hofman et al (1997b) reportó que solo el 6% de los sujetos estudiados mostraron una respuesta lineal de la HR durante la realización de ejercicio máximo, en comparación con el 94% que exhibió una respuesta no lineal (descendente o deflexión invertida) de la HR. Similarmente, Vella y Robergs (2005) reportaron que la relación HR-VO₂ durante la realización de un test progresivo de ciclismo en individuos entrenados en resistencia era no lineal para la mayoría (15 de 18) de los sujetos.

Las consecuencias de asumir una relación lineal entre la HR y el VO₂ a través de todos el espectro de intensidades es una potencias sobre o subestimación de la carga de entrenamiento. Tal como lo señalaran Weltman et al (1989), dependiendo de la naturaleza de la relación HR-VO₂ (descendente o deflexión invertida), puede haber una considerable disparidad en las respuestas metabólicas a las distintas intensidades de ejercicio para un %HRR dado. La examinación visual de los datos de las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx (Figura 4) en el presente estudio sugieren que las relaciones pueden ser descritas de mejor manera utilizando el análisis de regresión lineal. Similarmente, los datos de las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx ilustrados en las Figuras 1 y 2 del estudio de Swain y Leutholtz (1997) también respaldan la aplicación del análisis de regresión lineal. Se requieren de investigaciones adicionales para determinar si las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx pueden ser descritas de mejor manera utilizando el análisis de regresión no lineal.

Tal como se reportara en investigaciones previas (Brawner et al., 2002; Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998), nosotros hallamos una relación inversa significativa entre el nivel de aptitud física y la disparidad entre la relación %HRR vs %VO₂máx y la línea de identidad para ambas modalidades de ejercicio. Los menores niveles de aptitud física estuvieron asociados con mayores valores de ordena al origen en el grupo que se ejercitó en el escalador elíptico (r = 0.55) así como también en el subgrupo que se ejercitó en el escalador elíptico (r = 0.53) y en la cinta ergométrica (r = 0.55). Una de las principales ventajas de prescribir el ejercicio de acuerdo con la relación %HRR vs %VO₂R, más que con la relación %HRR

vs %VO₂máx, es que resulta en una frecuencia cardíaca objetivo más precisa a través de todo el espectro de intensidades (Swain et al., 1998). Esta aproximación a la prescripción del ejercicio minimizará el porcentaje de error en la intensidad de ejercicio, lo cual es particularmente importante cuando se trabaja con un individuo que tiene bajos niveles de aptitud física.

Si se asume que el %HRR está más estrechamente relacionado con el %VO₂máx que con el %VO₂R cuando se establecen las cargas de entrenamiento, la magnitud del error será mayor en reposo para individuos con bajo nivel de aptitud física y también a través de todo el rango de intensidades bajas. Por ejemplo, un individuo con un VO₂máx de 17.5 mL/kg/min, estará al 20% (3.5 mL/kg/min) de su VO₂máx en reposo, mientras que un individuo con un VO₂máx de 42 mL/kg/min estará a un 8.3% (3.5 mL/kg/min) de su VO₂máx en reposo. Por lo tanto, para el individuo con el menor nivel de aptitud física habrá un error de 20 unidades entre el %HRR y el %VO₂máx en reposo en comparación con las 8.3 unidades para el sujeto con mayor aptitud física. La magnitud del error entre el %HRR y el %VO₂máx podría ser menor a medida que se incrementa la intensidad del ejercicio y ambos valores alcancen el 100%. Sin embargo, como lo señalan Swain y Leutholtz (1997), una disparidad relativamente pequeña entre el %HRR y el %VO₂máx puede producir un error substancial en la prescripción de la intensidad del ejercicio. Estos errores pueden evitarse prescribiendo las cargas de entrenamiento en términos de %HRR como equivalente al %VO₂R y no al %VO₂máx.

Otra de las principales ventajas de prescribir la intensidad del ejercicio en base al %VO₂R, y no al %VO₂máx, es que provee una intensidad relativa equivalente para individuos de diferentes niveles de aptitud física. Considere el siguiente ejemplo de dos individuos con valores de VO₂máx de 25 y 50 mL/kg/min. En reposo, el individuo con un VO₂máx de 25 mL/kg/min se encuentra al 14% de su VO₂máx, mientras que el individuo con un VO₂máx de 50 mL/kg/min se encuentra al 7%. Si se establece que la intensidad del ejercicio es el 50% del VO₂máx, el individuo con un VO₂máx de 25 mL/kg/min necesita incrementar su VO₂máx hasta el 36% en comparación con el individuo que tiene un VO₂máx de 50 mL/kg/min que necesita incrementar su VO₂máx hasta el 43%. La discrepancia de los ajustes relativos en la intensidad del entrenamiento en el ejemplo previo puede resultar en dispares efectos de entrenamiento entre los dos individuos. Inversamente, si se utilizara el método del %VO₂R ambos individuos deberían haber realizado ajustes idénticos en la intensidad relativa (Swain y Leutholtz, 1997).

CONCLUSIONES

En base a hallazgos previos, el Colegio Americano de Medicina del Deporte ha cambiado sus recomendaciones en recientes ediciones y ahora la prescripción del ejercicio refleja que el %HRR debe basarse en el %VO₂R y no en el %VO₂máx (ACSM, 2006). Los hallazgos del presente estudio concuerdan con esta recomendación y extienden los hallazgos previos al ejercicio en escalador elíptico, el cual es un modo de ejercicio relativamente nuevo. Además, se halló que las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx son similares entre el ejercicio en cinta ergométrica y en escalador elíptico. Se necesitan estudios adicionales para confirmar estos hallazgos entre otros modos de ejercicio, y en poblaciones de diferentes edades y estatus de salud.

Puntos Clave

- El presente estudio mostró que el %HRR está más relacionado con el %VO₂R que con el %VO₂máx, durante la realización de ejercicio en escalador elíptico.
- Se halló que las relaciones %HRR vs %VO₂R y %HRR vs %VO₂máx eran equivalentes entre el escalador elíptico y la cinta ergométrica.
- Este estudio reveló que el ejercicio en escalador elíptico produce valores fisiológicos máximos (VO₂máx, HRmáx y RERmáx) similares a los provocados por el ejercicio en cinta ergométrica.

Agradecimientos

Este estudio fue subvencionado por Precor, Inc.

REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine (1995). Guidelines for exercise testing and prescription. 5th edition. *Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore*
2. American College of Sports Medicine (2006). Guidelines for exercise testing and prescription. 7th edition. *Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia*
3. Brahler, C.J. and Blank, S.E (1995). VersaClimbing elicits higher $\dot{V}O_{2\max}$ than does treadmill or rowing ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27, 249-254
4. Brawner, C.A., Keteyian, S.J. and Ehrman, J.K (2002). The relationship of heart rate reserve to $\dot{V}O_{2\text{reserve}}$ in patients with heart disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 418-422
5. Buchfuhrer, M.J., Hansen, J.E., Robinson, T.E., Sue, D.Y., Wasserman K. and Whipp, B.J (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology* 55, 1558-1564
6. Bunc V., Hofmann P., Leitner H. and Gaisi, G (1995). Verification of the heart rate threshold. *European Journal of Applied Physiology* 70, 263-269
7. Cohen, J (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd edition. *Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, New Jersey*
8. Davis, J.A. and Convertino, V.A (1975). A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Medicine and Science in Sports* 7, 295-298
9. Green, J.M., Crews, T.R., Pritchett, R.C., Mathfield C. and Hall, L (2004). Heart rate and ratings of perceived exertion during treadmill and elliptical exercise training. *Perceptual and Motor Skills* 98, 340-348
10. Haug, R.C., Porcari, J.P., Brice, G. and Terry, L (1999). Development of a maximal testing protocol for the NordicTrack cross-country ski simulator. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31, 619-623
11. Hofmann, P., Bunc, V., Leitner, H., Pokan, R. and Gaisl, G (1994). Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology* 69, 132-139
12. Hofmann, P., Pokan, R., Von Duvillard, S.P. and Schmid, P (1997). The Conconi test: letter to the editor. *International Journal of Sports Medicine* 18, 397-399
13. Hofmann P., Pokan R., Von Duvillard S.P., Seibert F.J., Zweiker R. and Schmid P (1997). Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 762-768
14. Jackson, A.S. and Pollock, M.L (1985). Practical assessment of body composition. *Physician and Sports Medicine* 13, 76-90
15. Swain, D.P. and Leutholtz, B.C (1997). Heart rate reserve is equivalent to $\% \dot{V}O_{2\text{reserve}}$, not to $\% \dot{V}O_{2\max}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29, 410-414
16. Swain, D.P., Leutholtz, B.C., King, M.E., Haas, L.A. and Branch, J.D (1998). Relationship between $\% \text{heart rate reserve}$ and $\% \dot{V}O_{2\text{reserve}}$ in treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 318-321
17. Vella, C.A. and Robergs, R.A (2005). Non-linear relationships between central cardiovascular variables and $\dot{V}O_{2\text{reserve}}$ during incremental cycling exercise in endurance-trained individuals. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 445, 452-459
18. Weltman, A., Weltman, J., Rutt, R., Seip, R., Levine, S., Snead, D., Kaier, D. and Rogol A (1989). Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve, and $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ for determining endurance training intensity in sedentary women. *International Journal of Sports Medicine* 10, 212-216

Cita Original

Dalleck LC, Kravitz L. Relationship Between $\% \text{Heart Rate Reserve}$ and $\% \dot{V}O_{2\text{ Reserve}}$ during Elliptical Crosstrainer Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine* (2006) 5, 662 - 671.