

Gasto energético aeróbico y anaeróbico en un circuito con cargas a seis intensidades diferentes

Aerobic and anaerobic energy expenditure during at circuit weight training through six different intensities

**Pedro J. Benito Peinado¹, María Álvarez Sánchez^{2,3}, Esther Morencos Martínez¹,
Rocío Cupeiro Coto¹, Víctor Díaz Molina^{1,2,3}, Ana Belén Peinado Lozado¹ y
Francisco J. Calderón Montero¹**

1.Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

2.Institute of Veterinary Physiology, Vetsuisse Faculty, University of Zurich, Zurich, Switzerland.

3.Zurich Center for Integrative Human Physiology (ZIHP), Zurich, Switzerland.

Resumen

El entrenamiento con cargas es una actividad anaeróbica glucolítica intensa y se ha comprobado que el error en las estimaciones del gasto energético en esta actividad varía entre un 13 y un 30%. El principal objetivo de este trabajo es describir la contribución anaeróbica de energía en un circuito con cargas. Doce hombres (20-26 años) y diecisiete mujeres (18-29 años) estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte realizaron un entrenamiento en circuito de cargas a 6 intensidades diferentes (entre el 30% y 80% de su 15RM). Durante la totalidad de los circuitos se registró el gasto energético aeróbico por calorimetría indirecta, la frecuencia cardiaca con pulsómetro Polar® y la concentración de lactato en sangre capilar para medir la contribución anaeróbica. El incremento que produjo la energía anaeróbica se situó entre el 5,1% y un máximo del 13,5%, lo que hace evidente que medir o no la contribución anaeróbica en el entrenamiento en circuito puede provocar un error medio del 9,65%. Existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el gasto energético aeróbico y total (aeróbico+anaeróbico) en todas las intensidades, en un circuito de entrenamiento con cargas a intensidades progresivas.

Palabras clave: entrenamiento con cargas; gasto energético; lactato; circuito.

Abstract

Resistance training is an intense anaerobic glycolytic activity and has been shown that estimates of energy expenditure in this activity turn out into an error that varies between 13 and 30%. The main aim of this paper is to describe the anaerobic energy contribution in circuit weight training. Twelve men (20-26 years) and seventeen women (18-29 years) students in Science of Physical Activity and Sport performed a circuit training at six different intensities (between 30% and 80% of 15RM). During all the circuits aerobic energy expenditure was registered by indirect calorimetry, heart rate with Polar® monitors and lactate concentration in capillary blood to measure the anaerobic contribution. The increased due to anaerobic energy was between 5,1%, and a maximum of 13,5% which clearly means that to measure or not the anaerobic contribution in circuit training can lead to an average error of 9,65%. There are significant differences ($P < 0,05$) between aerobic energy expenditure and total (aerobic+anaerobic) at all the intensities, in a circuit weight training with progressive loads.

Key words: resistance training; energy expenditure; lactate; circuit.

Correspondencia/correspondence: Pedro J. Benito Peinado

Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF.

Universidad Politécnica de Madrid. Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo..C/Martín Fierro, 7, 28040, Madrid. España

E-mail: pedroj.benito@upm.es

Introducción

Desde que Plyley (1989) comenzara hablar de los efectos cardiovasculares del entrenamiento en circuito (EC) en la década de los 80, muchos investigadores han encontrado efectos positivos del entrenamiento con cargas en diferentes patologías (Hunter, Bryan, Wetzstein, Zuckerman, y Bamman, 2002; Hunter, McCarthy, y Bamman, 2004; Ibanez y col., 2005; Jacobs, Nash, y Rusinowski, 2001) y una fuerte asociación entre los niveles de fuerza y la mortalidad (Ruiz y col., 2008), presentándose como una alternativa para la mejora de la salud.

Muy pocos estudios han descrito pormenorizadamente la respuesta fisiológica en este tipo de ejercicio a intensidades progresivas. Un estudio piloto ha revelado notables diferencias en la respuesta en función de la intensidad y el sexo, encontrando que el gasto energético de hombres y mujeres era diferente aún cuando éste era corregido por la masa muscular (Benito, Alvarez, Diaz, Peinado, y Calderón, 2010). Este estudio presenta dos limitaciones que nos previenen de llegar a una conclusión definitiva. En primer lugar no describe el efecto acumulativo de la fatiga en las tres vueltas a distintas intensidades, y en segundo lugar sólo se cuantificó el gasto aeróbico. El entrenamiento con cargas es una de las actividades anaeróbicas glucolíticas más intensas (Robergs, Gordon, Reynolds, y Walker, 2007b), y se ha comprobado que el error en las estimaciones del gasto energético en esta actividad deportiva varía entre un 13 y un 30% (Robergs y col., 2007b; Scott, 2006). Los estudios realizados a tal efecto, tan sólo han realizado sus medidas en ejercicios aislados (Robergs, Gordon, Reynolds, & Walker, 2007a; Scott, 2006) y no se ha descrito hasta el momento la contribución anaeróbica de energía en un circuito con cargas, siendo éste el principal objetivo de nuestro trabajo.

Por otro lado, este tipo de entrenamiento es muy utilizado como complemento a los tratamientos hipocalóricos en la pérdida de peso, con interesantes resultados en pacientes con sobrepeso u obesidad (Del Corral, Chandler-Laney, Casazza, Gower, y Hunter, 2009; Kirk y col., 2009b). Dentro de las actividades de entrenamiento de fuerza que se realiza en los centros deportivos, el EC con máquinas es uno de los más practicados, por la reducción del tiempo de entrenamiento y por la sencillez en la ejecución técnica de los movimientos (Santana, 2001). Estudios como el de Beckham y Earnest (2000) muestran un gasto de $6,21 \pm 1,01$ kcal/min para hombres y $4,04 \pm 1,45$ kcal/min para mujeres, mientras que Lagally y colaboradores (2009) encontraron, en un circuito funcional con cargas, 8,3 kcal/min para mujeres y de 12,0 kcal/min para hombres, con lo que surge la pregunta sobre si la energía durante el EC, más la contribución anaeróbica, supone o no un gasto energético significativo para aplicarlo a los programas de pérdida de peso en patologías tales como la obesidad, ya que estamentos como el *American College of Sport Medicine (ACSM)* manifiesta la falta de evidencia sobre los programas de pérdida de peso basados exclusivamente en el entrenamiento con cargas (American College of Sports Medicine, 2009).

Desde el punto de vista de la mejora de la salud, diversos trabajos han estudiado si el EC supone o no un estímulo suficiente como mejora del consumo de oxígeno máximo, lo que se conoce como "*cardiovascular fitness*", siendo necesario al menos solicitar el 50% del VO_2 máx. para que haya cualquier cambio (American College of Sports Medicine y Thompson, 2010; Beckham y Earnest, 2000). Tan sólo el entrenamiento aeróbico ha sido capaz de mejorar este parámetro (Hunter y col., 2008; Poehlman y col., 2002) y aunque el EC puede provocar aumentos en el gasto energético total diario de hasta un 4% (Hunter, Wetzstein,

Fields, Brown, y Bamman, 2000; Kirk y col., 2009a), no se conoce si existe un porcentaje de carga que pueda provocar un estímulo similar, siendo este el segundo objetivo a concluir en nuestro trabajo.

Por tanto, el objetivo principal de este trabajo es cuantificar el gasto energético aeróbico y anaeróbico durante un EC con cargas en un amplio rango de intensidades. Adicionalmente, este estudio tiene el objetivo de determinar la intensidad necesaria durante un EC con cargas para alcanzar las recomendaciones mínimas del ACSM en relación a la mejora de la condición cardiovascular.

Material y métodos

Participantes

Doce hombres (20-26 años) y diecisiete mujeres (18-29 años) estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, con experiencia de al menos tres meses en entrenamiento con cargas, participaron en este estudio (características descriptivas en tabla 1). Siguiendo con las directrices éticas de la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (World Medical Association, 2004), fueron informados de la naturaleza y finalidad del estudio y firmaron un consentimiento informado.

Tabla 1: Descriptivos de la muestra. (a) diferencias significativas entre sexos ($p < 0,05$).

	Mujer (n=17)		Hombre (n=12)		Total (n=25)	
	Media	± D.E	Media	± D.E	Media	± D.E
Edad (Años)	21,5	± 2,6	24,2	± 1,9	22,4	± 2,7
Peso (kg)	58,8	± 4,9	79,5	± 7,2 ^a	65,9	± 11,5
Talla (cm)	162,7	± 3,7	180,6	± 6,8 ^a	168,9	± 9,9
VO ₂ max (ml/min/kg)	54,41	± 3,89	61,18	± 7,81 ^a	56,75	± 6,32
% Grasa	16,78%	± 2,36%	10,82%	± 1,97% ^a	13,80%	± 2,17%
Masa muscular (kg)	28,9	± 2,6	38,9	± 2,7 ^a	33,9	± 2,7

Procedimientos

Todos los participantes en el estudio acudieron al laboratorio en 8 ocasiones. El primer día los sujetos realizaron una prueba ergoespirométrica máxima en tapiz rodante y se valoró su composición corporal. En la segunda cita se midió el ritmo metabólico basal. Posteriormente, entre la tercera y octava visita los participantes realizaron 6 EC con cargas con intensidades correspondientes entre el 30 y el 80%, con al menos dos días de descanso entre cada circuito (estos son descritos más adelante).

Prueba ergoespiométrica máxima

Con el objetivo de conocer el consumo de oxígeno máximo (VO_2 máx.) y descartar patologías cardíacas o respiratorias, los participantes realizaron bajo control médico una prueba ergoespiométrica máxima en tapiz rodante cuyo procedimiento y protocolo han sido validados anteriormente (Benito, Calderón, García-Zapico, y Peinado, 2005).

Ritmo metabólico de reposo (RMR)

El RMR fue medido usando calorimetría indirecta (Oxycon pro, VIASYS Healthcare, Germany), con el objetivo de poder obtener medidas netas de consumos energéticos. Las medidas se realizaron por la mañana, sin realización previa de ejercicio en al menos 48h, 12h de ayuno y a una temperatura de 25° C. Se mantuvo al sujeto 30 minutos en tendido supino. El consumo de oxígeno y la producción de CO_2 fueron usados para el cálculo del RMR de acuerdo con la fórmula propuesta por Weir (Weir, 1949). Cuando se observaban un mínimo de 15 minutos de estado estable, definido como una fluctuación menor del 5% del coeficiente de variación en el consumo de oxígeno y en el cociente respiratorio (Melanson y col., 2002), la prueba se consideró válida.

Variables antropométricas

La valoración antropométrica fue realizada por un experto siguiendo las recomendaciones del documento de consenso del Grupo Español de Cineantropometría (GREC) (Alvero y col., 2009). Para el cálculo del porcentaje de grasa se utilizó la fórmula de 6 pliegues de Carter (1990), que incluye los pliegues del tríceps, subescapular, suprailíaco, abdominal, gemelo y muslo. El cálculo de la masa muscular se realizó a través de la fórmula de Martin y colaboradores (1990).

Descripción del circuito

Para la realización de este estudio se utilizaron máquinas de placas (Pannata, Italy). El circuito estaba compuesto por ocho ejercicios que se realizaban en el siguiente orden: press de pecho, extensiones de cuádriceps, jalones en polea, prensa de piernas, press de hombros, curl femoral, flexión de bíceps y extensión de tríceps (Figura 1).

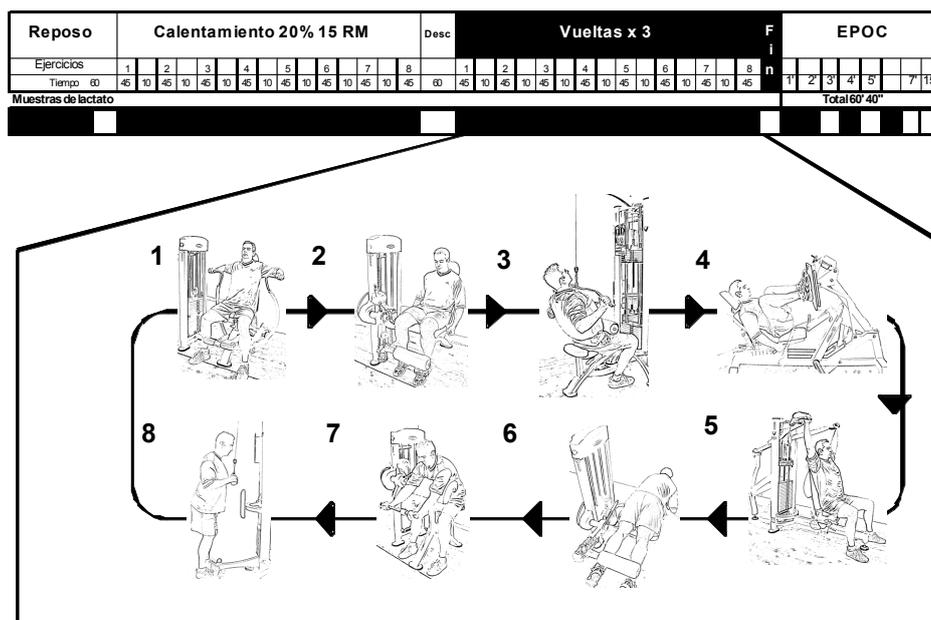


Figura 1. Descripción del protocolo de cada uno de los circuitos realizados por los participantes.

Todos los participantes realizaron 6 circuitos con un descanso de dos días entre ellos. Cada circuito se realizó a una intensidad del 30, 40, 50, 60, 70 u 80% de 15 repeticiones máximas (15RM) para cada ejercicio. El orden de las intensidades fue aleatorizado. Cada circuito estaba compuesto por una vuelta de calentamiento al 20% de 15RM, seguido por tres vueltas consecutivas a la intensidad fijada y con un descanso entre las vueltas de 5 minutos. Además, entre cada ejercicio se fijó un descanso de 10 segundos, de forma que la duración total del entrenamiento fue de 60 min y 40 segundos.

Para controlar el ritmo de ejecución de los ejercicios se elaboró un sonido que diferenciaba la fase concéntrica de la excéntrica con un ritmo conocido (ritmo 1:2). Estos sonidos controlaban las pausas, el cambio de ejercicio y todo lo relativo al protocolo de ejercicio y recuperación.

El volumen levantado por cada participante en cada intensidad, fue calculado como el peso movilizándolo en cada ejercicio por 15 repeticiones y multiplicado por tres vueltas al circuito.

Cálculo de las 15RM

En dos días diferentes y en la semana previa a la realización de los circuitos, los participantes completaron a la cadencia fijada (1:2) un protocolo para el cálculo de la 15RM descrito anteriormente (Benito y col., 2010). Cuando la diferencia entre los dos test era superior al 3%, se volvió a repetir el protocolo hasta alcanzar un valor inferior. El análisis de fiabilidad de la medición de las 15RM mostró un coeficiente de correlación intraclass de 0,971.

Cálculo del gasto energético aeróbico por calorimetría indirecta

Durante la totalidad de los circuitos, se registró respiración a respiración el consumo de oxígeno (VO_2), la producción de dióxido de carbono (VCO_2) y la ventilación (V_E) mediante un analizador de gases portátil Jaeger Oxycon Mobile® (Erich Jaeger, Viasys Healthcare, Germany) (Díaz y col., 2008; Rosdahl, Gullstrand, Salier-Eriksson, Johansson, y Schantz, 2010). Además, la frecuencia cardíaca (HR) fue registrada con un pulsómetro Polar® heart rate monitor (Polar Electro, Kempele, Finland). De estas variables y utilizando las ecuaciones

de conversión estequiométricas, se derivaron las variables de gasto energético conforme a procedimientos previamente descritos (Beckham y Earnest, 2000; Robergs y col., 2007b).

Además, tras la finalización del circuito los participantes permanecieron tumbados durante al menos 15 minutos para calcular el gasto energético post-ejercicio (EPOC) hasta que se alcanzaban al menos dos valores consecutivos de VO_2 iguales al RMR.

Medidas de lactato

Inmediatamente después de cada vuelta y a los 3 y 5 minutos del período de recuperación se obtuvieron muestras de sangre (capilar). La concentración de lactato fue medida por el método enzimático usando el analizador de lactato YSI 1500 Sport (YSI, Yellow Springs, OH).

Cálculo de la contribución anaeróbica al gasto energético total

Las medidas de incrementos de lactato respecto de los valores de reposo (mmol/l) fueron convertidas a su equivalente en oxígeno, mediante la equivalencia de $3 \text{ ml O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso corporal por mmol (Scott, 2006; Scott, Littlefield, Chason, Bunker, y Asselin, 2006), y a su vez en energía a través de la equivalencia 5 kcal/min por litro de O_2 . Al valor máximo de lactato alcanzado durante la vuelta se le restó el valor más bajo de lactato medido durante la recuperación anterior, excepto en la primera vuelta en la que valor mínimo fue el de la muestra de reposo.

La suma del componente aeróbico (VO_2 neto durante la prueba) más el gasto energético post-ejercicio como la contribución anaeróbica antes mencionada, fueron sumadas para obtener el gasto energético total de cada protocolo, conforme a los procedimientos descritos por otros autores (Scott, 2006; Scott y Kemp, 2005).

Análisis estadístico

Todos los datos se muestran como medias \pm desviaciones estándar. Las variables fueron promediadas cada 15 segundos y se extrajeron para introducirlas en el paquete estadístico SPSS v.16.0 para Windows (SPSS Worldwide Headquarters, Chicago, IL).

Las diferencias entre intensidades y sexo se evaluaron mediante un ANOVA de medidas repetidas con dos factores, un factor intrasujeto (intensidad) y un factor intersujeto (sexo). Potencia mínima de 0,80. Se utilizó un análisis *post-hoc* de Bonferroni que corrige el nivel de significación en función del número de comparaciones. El test de Levene garantizó la homogeneidad de las varianzas y por tanto la comparabilidad de los grupos. Se estableció para todos los análisis un valor de significación $\alpha \leq 0,05$.

Resultados

En la tabla 2 y 3 se muestran las cargas levantadas por cada grupo. Se puede observar que los ejercicios en los que más carga se levanta es la prensa de piernas. Existieron diferencias entre hombres y mujeres para todas las intensidades incluso cuando la carga se estudió por intensidades relativas a la masa corporal, pudiendo alcanzar una diferencia entre sexos al 80% de intensidad de 60 kcal por cada kg de masa corporal.

Tabla 2. Valores descriptivos para el valor de máxima carga levantada en 15 repeticiones máximas en hombres y mujeres para los diferentes ejercicios. Mujeres n=17 y hombres n=12. ^a. diferencias significativas entre sexos.

Ejercicio	Mujeres		Hombres	
	Media	±D.E	Media	±D.E
Press de banca sentado en máquina	32	±4	75	±22 ^a
Extensiones en máquina para cuádriceps	40	±8	71	±11 ^a
Jalones en polea para dorsal	34	±3	61	±7 ^a
Prensa inclinada	73	±16	128	±41 ^a
Press de hombro en máquina	14	±3	58	±20 ^a
Femoral en máquina tumbado	30	±4	53	±10 ^a
Curl de bíceps en máquina	21	±4	42	±10 ^a
Extensiones para tríceps en polea	16	±2	30	±6 ^a

Tabla 3. Volumen de carga total en cada intensidad. Calculado como suma de los ocho ejercicios por tres vueltas y quince repeticiones. Mujeres n=17 y hombres n=12. ^a.diferencias significativas entre sexos.*P=0,06.

		Intensidad del Circuito	30%	40%	50%	60%	70%	80%
Mujeres	Media	Volumen de carga (kg)	3550	4707	5881	7037	8235	9391
	D.E		±474	±622	±809	±968	±1118	±1284
Hombres	Media		6971 ^a	9400 ^a	11418 ^a	13688 ^a	15300 ^a	17595 ^a
	D.E		±1363	±2048	±2255	±2674	±2317	±3168
Mujeres	Media	Volumen de carga relativo al peso corporal (u.a)	60,6	80,3	100,4	120,1	140,6	160,3
	D.E		±7,8	±10,2	±13,3	±15,8	±18,4	±21,1
Hombres	Media		88,4 ^a	116,4 ^a	144,6 ^a	173,4 ^a	195,5 ^a	223,5 ^a
	D.E		±14,5	±22,3	±23,2	±27,5	±24,1	±33,5
Mujeres	Media	Porcentaje que representa cada intensidad respecto VO ₂ máxR(%)	33,6	34,4	37,2	39,5	41,4	44,8
	D.E		±6,1	±6	±5,7	±8,6	±7,1	±6,4
Hombres	Media		32,7	37,8	42,5 [*]	49,3 ^a	56,9 ^a	56,9
	D.E		±6,4	±5,8	±8,8	±8,6	±12,7	±15,3

El entrenamiento de este circuito no produjo una demanda de oxígeno que superase el 50% del VO₂ máx. de reserva, siendo los valores de los varones los más elevados.

Tabla 4. Diferencias en el gasto energético neto, con y sin energía anaeróbica y entre sexos.

			Energía total (Kcal/min)	Energía aeróbica (Kcal/min)	Incremento %	Energía total (MET's)	Energía aeróbica (MET's)
	Intensidad	n	Media±D.E	Media±D.E	Media	Media±D.E	Media±D.E
Mujeres	30	16	2,79 ±0,6	2,46 ^a ±0,6	12,10%	2,73 ±0,6	2,42 ^a ±0,6
	40	16	2,91 ±0,6	2,55 ^a ±0,6	12,20%	2,81 ±0,6	2,50 ^a ±0,6
	50	17	3,05 ±0,5	2,74 ^a ±0,5	10,20%	2,97 ±0,5	2,68 ^a ±0,4
	60	15	3,37 ±0,5	3,04 ^a ±0,5	9,90%	3,32 ±0,5	3,00 ^a ±0,5
	70	15	3,45 ±1,0	3,11 ^a ±1,0	10,00%	3,29 ±0,8	2,98 ^a ±0,8
	80	16	3,41 ±0,9	3,10 ^a ±0,9	9,00%	3,32 ±0,9	3,03 ^a ±0,9
Hombres	30	12	4,381 ±0,6	3,95 ^{a1} ±0,8	9,90%	3,212 ±0,6	2,90 ^{a2} ±0,6
	40	12	5,011 ±1,0	4,56 ^{a1} ±0,9	9,10%	3,582 ±0,8	3,24 ^{a2} ±0,7
	50	11	6,211 ±1,4	5,37 ^{b1} ±0,9	13,50%	4,481 ±0,7	3,90 ^{b1} ±0,6
	60	10	7,601 ±1,7	7,08 ^{a1} ±1,7	6,80%	5,571 ±1,4	5,19 ^{a1} ±1,4
	70	10	8,981 ±1,8	8,51 ^{a1} ±1,8	5,20%	6,581 ±1,3	6,23 ^{a1} ±1,3
	80	6	7,822 ±3,1	7,20 ^{b2} ±3,1	7,90%	5,612 ±1,9	5,18 ^{b2} ±2,0

^a. Existen diferencias con energía neta (p<0,001), ^b. Existen diferencias con energía neta (p<0,05), ¹. Existen diferencias con las mujeres (p<0,001). ². Existen diferencias con las mujeres (p<0,05). Incremento calculado como la diferencia de las energías aeróbica y total dividido entre la energía total en Kcal.

Se observó una respuesta progresiva en el gasto energético entre el 30 hasta el 70% de la intensidad máxima, mostrando un aplanamiento en la intensidad final. Existieron diferencias (p< 0,05) entre la energía total neta (aeróbica más anaeróbica) y la energía exclusivamente aeróbica (VO₂), no obstante la diferencia es pequeña. De hecho, la diferencia entre estas dos variables es de 0,33 kcal/min para mujeres y 0,56 kcal/min para varones (datos no mostrados).

El incremento que produjo la energía anaeróbica, proveniente del ácido láctico, se situó entre el 5,1% y un máximo del 13,5%.

La relación de la frecuencia cardíaca con la intensidad en el EC con cargas mostró una relación proporcional a la intensidad (r=0,55 y r=0,65 con p<0,001 para mujeres y hombres respectivamente), tanto en hombres como en mujeres. No se encontraron diferencias significativas entre sexos para esta variable.

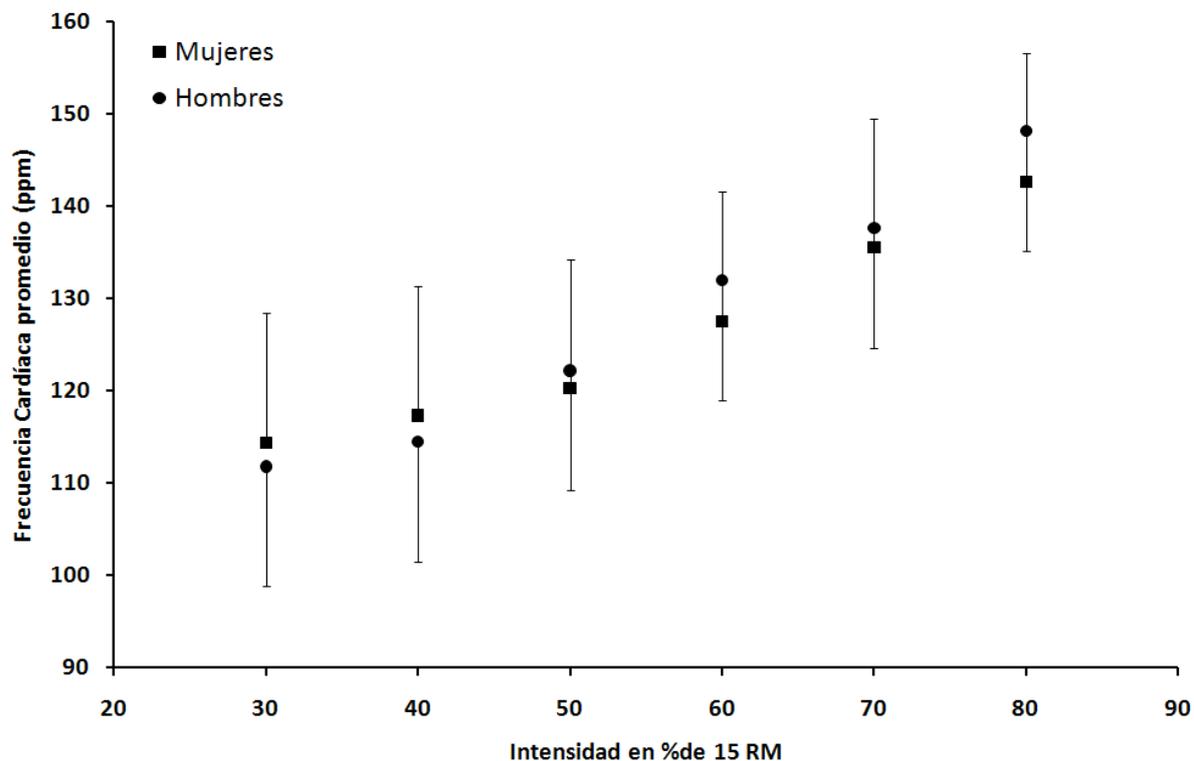


Figura 2. Relación entre la intensidad y la frecuencia cardíaca media de hombres y mujeres. No hubo diferencias significativas en ninguna intensidad entre sexos después de aplicar el ANOVA de medidas repetidas. El número de sujetos en cada intensidad puede verse en la tabla 4. Las barras indican error típico de la media.

Las concentraciones de lactato más elevadas correspondieron a los varones en la máxima intensidad.

En la figura 3 se muestra que en nuestro circuito se obtuvo una concentración mínima de $2,24 \pm 0,45$ y $4,03 \pm 0,81$ mmol/l para mujeres y hombres respectivamente, y una máxima de $10,35 \pm 3,27$ y $20,7 \pm 4,51$ mmol/l, con lo que además de observar la progresividad en las concentraciones debidas a la intensidad, también podemos observar cómo la dispersión de los datos también aumenta con la intensidad.

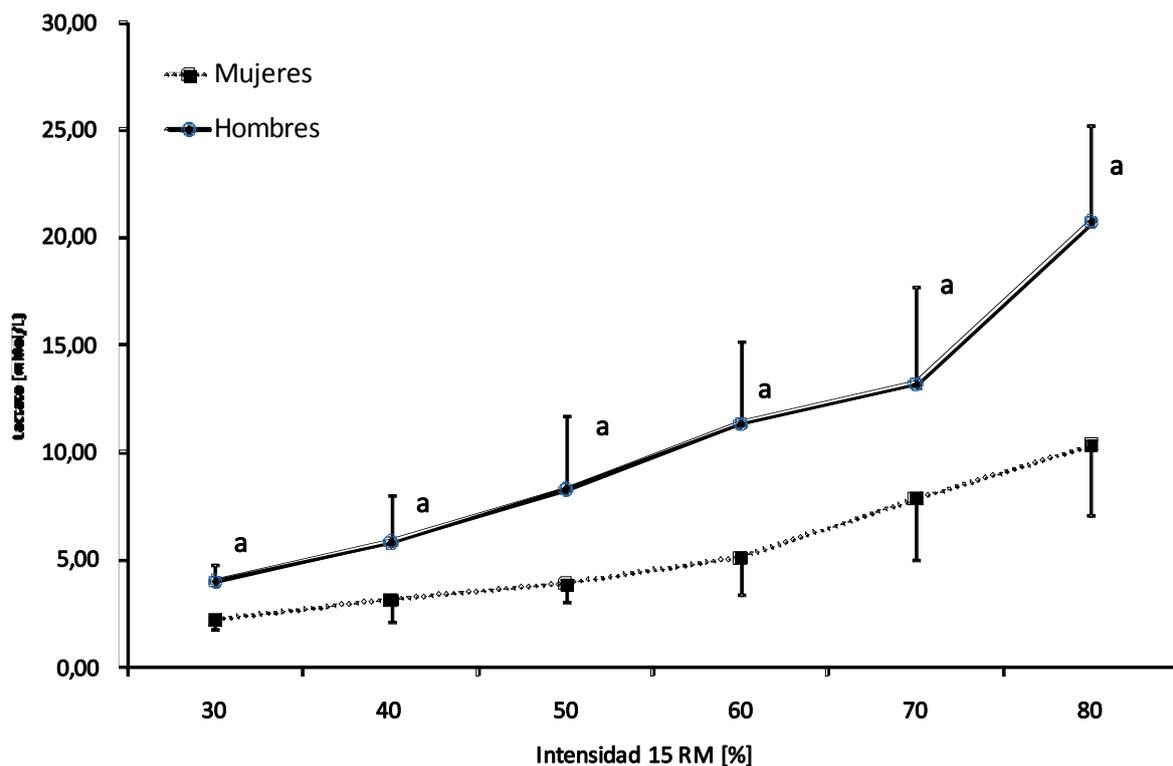


Figura 3. Concentraciones de lactato en sangre capilar a diferentes intensidades del circuito de entrenamiento. ^a.diferencias entre sexos. Las barras indican error típico de la media.

En la figura 4 se muestran las diferencias en el ritmo de intercambio respiratorio, existiendo éstas tan sólo en las primeras tres intensidades (30-50%). El cociente respiratorio más elevado corresponde a las mujeres con $1,11 \pm 0,05$ (datos no mostrados).

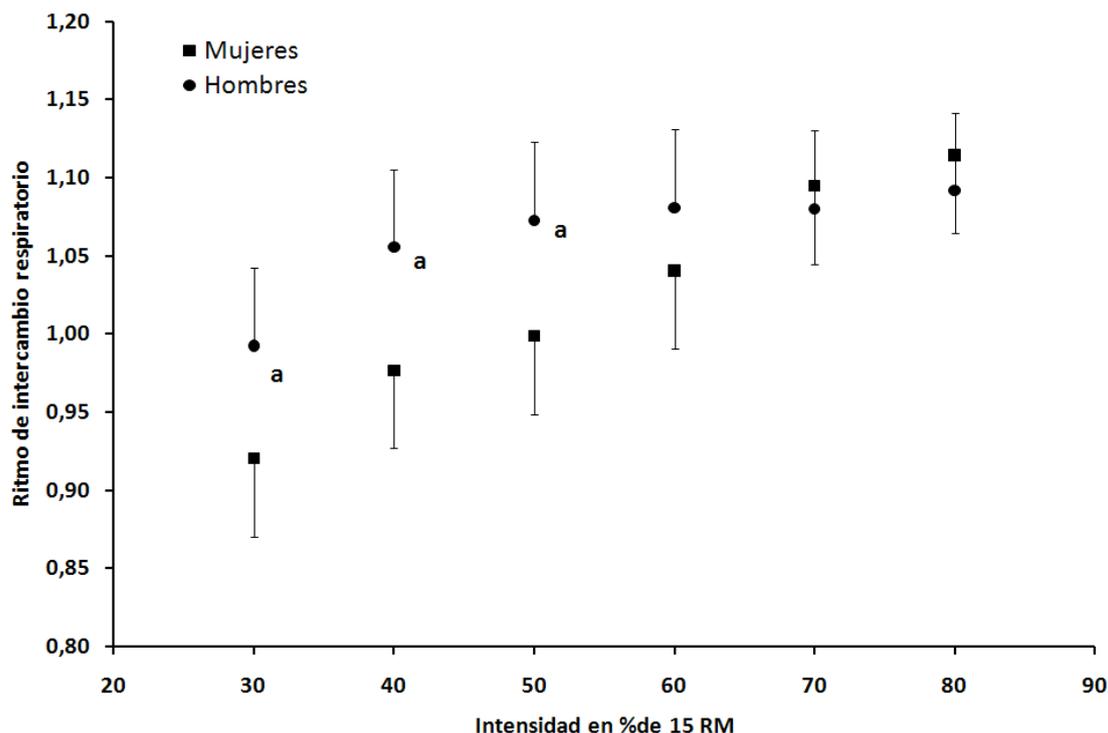


Figura 4. Ritmo de intercambio respiratorio promedio durante el circuito, a diferentes intensidades de entrenamiento. ^a. diferencias entre sexos ($p < 0,05$). Las barras indican error típico de la media.

Existieron diferencias significativas en la mayoría de las intensidades en el gasto energético por cada kilogramo de masa muscular (figura 5), exceptuando la intensidad del 30% de 15 RM. Además la pendiente de incremento parece diferente en función del sexo, incrementando la pendiente a medida que aumenta la intensidad.

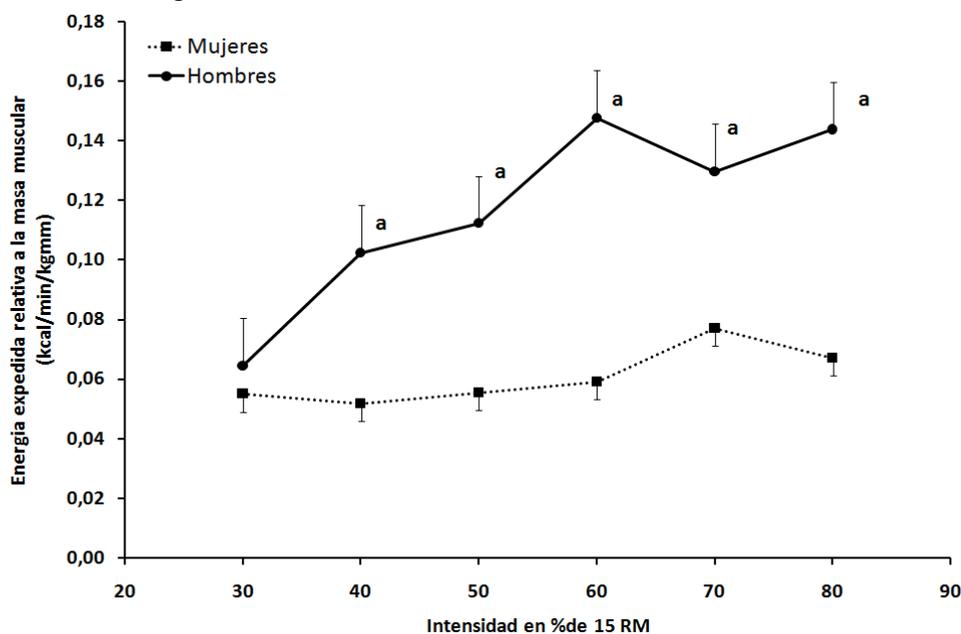


Figura 5. Diferencias entre sexos en la energía expedita relativa a la masa muscular a diferentes intensidades de entrenamiento. ^a. diferencias entre sexos ($p < 0,05$). Las barras indican error típico de la media.

Discusión

Nuestro estudio hace evidente que la diferencia entre medir o no la contribución anaeróbica en el entrenamiento en circuito puede provocar un error medio del 9,65% (mínimo 5,20% y máximo 13,50%, tabla 4), cuestión que debería ser tenida en cuenta con el objetivo de mejorar las equivalencias en las tablas de gasto energético debido a la actividad física (Ainsworth y col., 2000). Scott (2006), analizando la contribución anaeróbica en entrenamiento con tres ejercicios aislados, comprobó que el hecho de no analizar el componente anaeróbico de este tipo de ejercicio podría provocar un error de entre el 16% al 39% de la energía medida. Aún hoy se siguen haciendo estimaciones del gasto energético de entrenamiento con cargas sin tener en cuenta la contribución anaeróbica (Rawson y Walsh, 2010), siendo que muchos autores han manifestado un significativo error en esta práctica (Robergs y col., 2007a; Scott, 2006; Scott y col., 2006).

Thornton y Potteiger (2002) en un entrenamiento ligero con 15 repeticiones al 45% de 8 RM en mujeres obtuvieron unas concentraciones de lactato de 3,8 mmol/l, lo que se encuentra muy cercano a los valores obtenidos para nosotros entre el 40 y 60% de 15 RM también para mujeres. Sin embargo cuando se les expuso a un entrenamiento de alta intensidad de 8 repeticiones al 85% de 8 RM, obtuvieron unas concentraciones inferiores a 5 mmol/l, muy inferior a nuestros datos para mujeres al 80% de 15 RM (10,35±3,27 mmol/l). Con 8 repeticiones al 65% de la 1 RM, Hunter y colaboradores encontraron una concentración de 7,9 mmol/l, por debajo a la encontrada por nosotros que supera los 20 mmol/l (Hunter, Seelhorst, y Snyder, 2003). Kang y colaboradores (2005) compararon tres circuitos, ligero (4 series al 60% de 1RM para 15 repeticiones), moderado (4 series al 75% de 1RM para 10 repeticiones) e intenso (4 series al 90% de 1RM para 4 repeticiones), concluyendo que la concentración de lactato más elevada se refería al entrenamiento en teoría ligero. Los valores mostrados en su trabajo fueron de 15.3±0.7, 13.9±0.7 y 9.7±0.8 mmol/l para los tres protocolos respectivamente, lo que se acerca mucho más a nuestros valores para varones. Las diferencias mostradas entre circuitos pueden deberse a los músculos implicados en los ejercicios elegidos, el trabajo mecánico desarrollado (series y repeticiones) así como la intensidad (carga o velocidad) a la que han sido ejecutados (Hunter y col., 2003; Kang y col., 2005; Robergs y col., 2007a; Scott, 2006; Scott y col., 2006). Una de las explicaciones más plausibles se relaciona con el hecho de que los altos grados de contracción de la masa muscular pueden provocar una disminución del flujo sanguíneo, que obligue a las células a utilizar combustibles y vías energéticas alternativas, como la glucólisis anaeróbica. Este desplazamiento del metabolismo energético durante el ejercicio, provoca que el consumo de oxígeno después del ejercicio (EPOC) permanezca alterado proporcionalmente a la contribución anaeróbica (Braun, Hawthorne, & Markofski, 2005). La intensidad medida como la potencia mecánica desarrollada parece ser la variable más determinante en el EPOC (Kang y col., 2005), por encima de la duración del estímulo, que aunque influyente lo es en menor medida (Borsheim y Bahr, 2003). El entrenamiento con cargas no es una excepción. Thornton y Potteiger (2002) compararon los efectos de la carrera continua y un circuito de entrenamiento con cargas a intensidades similares sobre esta variable, concluyendo que era significativamente mayor en circuito. Sin embargo en nuestro estudio se han tenido en cuenta tanto la energía gastada durante el ejercicio como el EPOC producido y la energía anaeróbica proveniente del lactato, conforme a procedimientos previamente contrastados (Robergs y col., 2007a; Scott, 2006; Scott y col., 2006). Por tanto, podemos aducir que, a falta de la

calorimetría directa, presentamos los datos más precisos hasta el momento sobre el gasto energético en entrenamiento en circuito.

La elevada deuda de oxígeno contraída durante el entrenamiento con cargas es consecuencia en gran medida de la concentración de lactato (Binzen, Swan, y Manore, 2001; Borsheim y Bahr, 2003; Thornton y Potteiger, 2002). De hecho los elevados valores de ritmo de intercambio respiratorio (RER) se atribuyen a este hecho, aunque después del ejercicio se provoque el efecto contrario. Esto es un desplazamiento significativo hacia el consumo de grasas y por tanto una disminución significativa del RER (Hunter y col., 2000; Thornton y Potteiger, 2002).

Por otro lado, el *ACSM* recomienda que para la mejora de la salud dependiente de la capacidad aeróbica (VO_2 máx.), los ejercicios deben alcanzar al menos 40% de la reserva de consumo de oxígeno (American College of Sports Medicine & Thompson, 2010) o el 50% del VO_2 máx. (Beckham y Earnest, 2000). Siendo éste el primer estudio que describe la respuesta cardiodinámica en un circuito de entrenamiento con cargas a intensidades progresivas, se puede observar (tabla 3) que en el caso de las mujeres se alcanza el umbral de mejora de esta variable al 70% de la intensidad máxima, mientras que en los varones con el 50% ya podría obtenerse un aumento hipotético de esta importante variable. Lagally y colaboradores (2009) consiguieron, a través de un circuito sin descanso en poleas, alcanzar un 47,8% del VO_2 máx de reserva, pero de nuevo sin alcanzar las necesidades para la mejora aeróbica según su opinión, porque indican que el *ACSM* expresa como umbral mínimo el 50% de la reserva del VO_2 máx., cuando en su revisión del 2010 el umbral mínimo se sitúa en el 40% (American College of Sports Medicine y Thompson, 2010).

Aunque nuestros datos representan el consumo de oxígeno promedio durante el circuito, es necesario tener en cuenta que esta técnica de ejercicio es discontinua y el hecho de que durante momentos puntuales el consumo puede superar los umbrales para la mejora del VO_2 máx. Este dato contrasta con investigaciones previas que no han conseguido, con una intervención de entrenamiento en circuito mejorar esta variable (Poehlman y col., 2002). Incluso en intervenciones más recientes el entrenamiento con cargas ha disminuido significativamente esta variable (Hunter y col., 2008).

Los trabajos Beckham y Earnest (2000) muestran que en todo caso, cuando el ejercicio con cargas es moderado, no se supera el 32% del VO_2 máx., aunque estos autores sólo compararon ejercicio ligero y moderado. Gotshalk y colaboradores (2004), en un circuito de 10 ejercicios muy similar al nuestro, trabajando al 40% de la 1 RM lograron alcanzar consumos de $27,3 \pm 4,2$ ml/kg/min, lo que supuso el 53% del VO_2 máx y una frecuencia cardíaca promedio del 87% de la máxima. A la misma frecuencia cardíaca que correr en el tapiz rodante, el VO_2 fue notablemente inferior. Ortego y colaboradores (2009) tampoco encontraron diferencias significativas en la frecuencia cardíaca en un circuito muy similar al nuestro, aunque en contra a lo que muestran otros trabajos (Beckham y Earnest, 2000; Benito y col., 2010), tanto el trabajo de Ortego como el nuestro muestran una relación proporcional entre la intensidad y la frecuencia cardíaca en EC (Benito y col., 2010; Ortego y col., 2009). Las diferencias en la carga utilizada en cada estudio podrían explicar la respuesta cardíaca, ya que estudios precedentes han demostrado que la frecuencia cardíaca y la carga promedio son dos variables dependientes de la intensidad y que afectan de manera diferente a cada sexo (Benito y col., 2010).

El mecanismo por el que la relación VO_2 frente a FC tiene un comportamiento diferente al de las actividades continuas sigue siendo una especulación. Se ha sugerido que el desproporcionado incremento de la frecuencia cardíaca en entrenamiento con cargas es el resultado de múltiples cambios, incluyendo la elevación de catecolaminas y ácido láctico en plasma, un incremento en la activación de fibras tipo II y el reflejo vasopresor denominado maniobra de Valsalva que se produce cuando aumenta la presión intraabdominal (Delius, Hagbarth, Hongell, y Wallin, 1972; Kang y col., 2005; Sinoway y col., 1989).

La energía expedita total en nuestro circuito estuvo en torno a 2,79 - 3,45 kcal/min para mujeres, frente a las 4,38 - 8,98 kcal/min en hombres (para intensidades mínimas y máximas respectivamente). Morgan y colaboradores encontraron al 85% y 100% de 8 RM respectivamente (10-12 KJ/min) ó 2,4-2,88 kcal/min (Morgan, Woodruff, y Tiidus, 2003). Beckham y Earnest (2000) 6.21 ± 1.01 kcal/min para hombres y 4.04 ± 1.45 kcal/min para mujeres, mientras que Lagally y colaboradores (2009) encontraron, en un circuito funcional con cargas 8,3 kcal/min para mujeres y de 12,0 kcal/min para hombre. En este último trabajo el circuito no tenía pausas, lo que puede explicar la diferencia en el gasto.

Expresado en unidades metabólicas (MET's), nuestros datos muestran un gasto energético total de entre $2,73 \pm 0,57$ y $3,29 \pm 0,89$ METs para mujeres y $3,21 \pm 0,57$ hasta los $6,58 \pm 1,30$ para hombres. Estos datos están muy cerca de los 2-3 METs de Morgan y colaboradores (2003), aunque éste sólo mide energía aeróbica, y mucho más próximos a los datos de Ortego y colaboradores (2009) que muestran 3,8 y 5,6 METs para mujeres y hombres respectivamente. Por otro lado, Ainsworth y colaboradores (2000) indican que con descansos mínimos y algún ejercicio dinámico, en circuito de entrenamiento con pesas se puede alcanzar los 8 METs, mientras que el entrenamiento de pesas clásico no alcanzaría las 6 unidades metabólicas. Estos datos de energía expedita están a la altura de realizar ciclismo a unos 20 km/h, bicicleta estática a 150 vatios, o correr a 8 km/h (Ainsworth y col., 2000), que aunque moderados, pueden suponer un estímulo suficiente utilizados solo (Camargo y col., 2008; Davidson y col., 2009; Kirk y col., 2009a), o en combinación con la dieta (Bouchard, Soucy, Senechal, Dionne, y Brochu, 2009; Brochu y col., 2009; Del Corral y col., 2009; Hunter y col., 2008) para la pérdida de peso, sobre todo en poblaciones que no pueden realizar actividades cardiodinámicas de mayor gasto. La controversia suscitada en cuanto a la utilidad del entrenamiento con cargas como tratamiento en los programas de pérdida de peso sin combinación con dieta (American College of Sports Medicine, 2009) sigue en pie, ya que las evidencias sugieren que cualquier programa de ejercicio que no se combine con restricción calórica no obtiene los resultados deseados (Bouchard y col., 2009; Del Corral y col., 2009; Hunter y col., 2008; Poehlman y col., 2002).

En nuestros datos, en las intensidades máximas se produce un aplanamiento en la energía expedita, indicador de que la potencia energética para esta actividad está llegando a su límite, aunque también la técnica de ejecución (debido a la acumulación de la fatiga) podría interferir en el gasto energético en el aplanamiento observado (Morgan y col., 2003). Esto queda reforzado por la idea de que muchos de los participantes no pudieron concluir las últimas vueltas del circuito a la intensidad máxima.

Las diferencias en las respuesta cardiodinámica y energética entre hombres y mujeres no son una novedad (Lemmer y col., 2001; Mayhew, Hancock, Rollison, Ball, y Bowen, 2001), sin embargo el estudio de las diferencias en entrenamiento con cargas en circuito es de relativa actualidad (Ortego y col., 2009). Ortego y colaboradores descartan la posibilidad de que las

diferencias en el consumo de oxígeno sean debidas a la masa muscular. Cuando estos autores dividieron el gasto entre el peso libre de grasa, seguían existiendo diferencias en todo momento (Ortego y col., 2009), de la misma manera que ocurre en nuestros datos. En nuestro caso diferencias genéticas, así como antropométricas, podrían ser la explicación junto con la carga propuesta a cada sexo (Castellani y col., 2006). La composición fibrilar (factor genético) ha sido propuesta como causa de las diferencias de gasto energético de estas actividades (Glenmark, 1994; O'Hagan, Sale, MacDougall, y Garner, 1995). Otras diferencias como el tamaño del corazón o la cantidad de hemoglobina podrían explicar la respuesta diferencial del gasto energético (Ortego y col., 2009). Aunque estos resultados hay que tomarlos con cautela y necesitan de un diseño experimental en el que tan sólo influya el sexo y la carga propuesta se relativice a la masa muscular.

Conclusiones

Existen diferencias significativas entre el gasto energético aeróbico y total (aeróbico+anaeróbico) en todas las intensidades, en un circuito de entrenamiento con cargas a intensidades progresivas. La respuesta cardiodinámica es proporcional a la intensidad, de la misma manera que la energética, aunque en las cargas elevadas esta proporcionalidad se pierde.

Un EC con cargas puede provocar un %VO₂ de reserva como el propuesto por el ACSM para la mejora del consumo de oxígeno, aunque la intensidad en mujeres debe ser más alta que en varones (70 frente a 50% de 15 RM respectivamente).

Agencias de patrocinio

Víctor Díaz Molina es investigador postdoctoral de la Universidad Politécnica de Madrid (Programa Marie Curie - COFUND, contrato UNITE 246565)

Referencias

- Ainsworth, B. E.; Haskell, W. L.; Whitt, M. C.; Irwin, M. L.; Swartz, A. M.; Strath, S. J., y col. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc*, 32(9 Suppl), S498-504.
- Alvero, J. R.; Cabañas, M. D.; Herrero, A.; Martínez, L.; Moreno, C.; Porta, J., y col. (2009). Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del Grupo español de cineantropometría de la Federación española de Medicina del Deporte. *Archivos de Medicina del Deporte*, 26(131), 166-179.
- American College of Sports Medicine. (2009). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine, & Thompson, W. R. (2010). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beckham, S. G., & Earnest, C. P. (2000). Metabolic cost of free weight circuit weight training. *J Sports Med Phys Fitness*, 40(2), 118-125.
- Benito, P. J.; Alvarez, M.; Diaz, V.; Peinado, A. B.; & Calderón, F. J. (2010). Aerobic energy expenditure and intensity prediction during a specific circuit weight training: A pilot study. *J Hum Sport Exerc*, 5(2), 134-145.

- Benito, P. J.; Calderón, F. J.; García-Zapico, A., y Peinado, A. B. (2005). Validez, fiabilidad y reproducibilidad de un test incremental en rampa en personas físicamente activas. *Rev. int. cienc. deporte*, 1(1), 46-63.
- Binzen, C. A.; Swan, P. D.; & Manore, M. M. (2001). Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6), 932-938.
- Borsheim, E., & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med*, 33(14), 1037-1060.
- Bouchard, D. R.; Soucy, L.; Senechal, M.; Dionne, I. J., & Brochu, M. (2009). Impact of resistance training with or without caloric restriction on physical capacity in obese older women. *Menopause*, 16(1), 66-72.
- Braun, W. A.; Hawthorne, W. E., & Markofski, M. M. (2005). Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *Eur J Appl Physiol*, 94(5-6), 500-504.
- Brochu, M.; Malita, M. F.; Messier, V.; Doucet, E.; Strychar, I.; Lavoie, J. M., & col. (2009). Resistance training does not contribute to improving the metabolic profile after a 6-month weight loss program in overweight and obese postmenopausal women. *J Clin Endocrinol Metab*, 94(9), 3226-3233.
- Camargo, M. D.; Stein, R.; Ribeiro, J. P.; Schwartzman, P. R.; Rizzatti, M. O., & Schaan, B. D. (2008). Circuit weight training and cardiac morphology: a trial with magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med*, 42(2), 141-145.
- Carter, L., & Heath, B. (1990). *Somatotyping: Development and applications*. Cambridge: University Press.
- Castellani, J. W.; Delany, J. P.; O'Brien, C.; Hoyt, R. W.; Santee, W. R., & Young, A. J. (2006). Energy expenditure in men and women during 54 h of exercise and caloric deprivation. *Med Sci Sports Exerc*, 38(5), 894-900.
- Davidson, L. E.; Hudson, R.; Kilpatrick, K.; Kuk, J. L.; McMillan, K.; Janiszewski, P. M., y col. (2009). Effects of Exercise Modality on Insulin Resistance and Functional Limitation in Older Adults A Randomized Controlled Trial. *Archives of Internal Medicine*, 169(2), 122-131.
- Del Corral, P.; Chandler-Laney, P. C.; Casazza, K.; Gower, B. A., & Hunter, G. R. (2009). Effect of dietary adherence with or without exercise on weight loss: a mechanistic approach to a global problem. *J Clin Endocrinol Metab*, 94(5), 1602-1607.
- Delius, W.; Hagbarth, K. E.; Hongell, A., & Wallin, B. G. (1972). Manoeuvres affecting sympathetic outflow in human muscle nerves. *Acta Physiol Scand*, 84(1), 82-94.
- Díaz, V.; Benito, P. J.; Peinado, A. B.; Álvarez, M.; Martín, C.; di Salvo, V., y col. (2008). Validation of a new portable metabolic system during an incremental running test. *J Sport Sci Med*, 7(4), 532-536.
- Glenmark, B. (1994). Skeletal muscle fibre types, physical performance, physical activity and attitude to physical activity in women and men. A follow-up from age 16 to 27. *Acta Physiol Scand Suppl*, 623, 1-47.
- Gotshalk, L. A.; Berger, R. A., & Kraemer, W. J. (2004). Cardiovascular responses to a high-volume continuous circuit resistance training protocol. *J Strength Cond Res*, 18(4), 760-764.

- Hunter, G. R.; Bryan, D. R.; Wetzstein, C. J.; Zuckerman, P. A., & Bamman, M. M. (2002). Resistance training and intra-abdominal adipose tissue in older men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 34(6), 1023-1028.
- Hunter, G. R.; Byrne, N. M.; Sirikul, B.; Fernandez, J. R.; Zuckerman, P. A.; Darnell, B. E., y col. (2008). Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity (Silver Spring)*, 16(5), 1045-1051.
- Hunter, G. R.; McCarthy, J. P., & Bamman, M. M. (2004). Effects of resistance training on older adults. *Sports Med*, 34(5), 329-348.
- Hunter, G. R.; Seelhorst, D., & Snyder, S. (2003). Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *J Strength Cond Res*, 17(1), 76-81.
- Hunter, G. R.; Wetzstein, C. J.; Fields, D. A.; Brown, A., & Bamman, M. M. (2000). Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol*, 89(3), 977-984.
- Ibanez, J.; Izquierdo, M.; Arguelles, I.; Forga, L.; Larrion, J. L.; Garcia-Unciti, M., y col. (2005). Twice-weekly progressive resistance training decreases abdominal fat and improves insulin sensitivity in older men with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 28(3), 662-667.
- Jacobs, P. L.; Nash, M. S., & Rusinowski, J. W. (2001). Circuit training provides cardiorespiratory and strength benefits in persons with paraplegia. *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 711-717.
- Kang, J.; Hoffman, J. R.; Im, J.; Spiering, B. A.; Ratamess, N. A.; Rundell, K. W., y col. (2005). Evaluation of physiological responses during recovery following three resistance exercise programs. *J Strength Cond Res*, 19(2), 305-309.
- Kirk, E. P.; Donnelly, J. E.; Smith, B. K.; Honas, J.; Lecheminant, J. D.; Bailey, B. W., y col. (2009a). Minimal Resistance Training Improves Daily Energy Expenditure and Fat Oxidation. *Med Sci Sports Exerc*.
- Kirk, E. P.; Donnelly, J. E.; Smith, B. K.; Honas, J.; Lecheminant, J. D.; Bailey, B. W., y col. (2009b). Minimal Resistance Training Improves Daily Energy Expenditure and Fat Oxidation (in press). *Med Sci Sports Exerc*.
- Lagally, K. M.; Cordero, J.; Good, J.; Brown, D. D., & McCaw, S. T. (2009). Physiologic and metabolic responses to a continuous functional resistance exercise workout. *J Strength Cond Res*, 23(2), 373-379.
- Lemmer, J. T.; Ivey, F. M.; Ryan, A. S.; Martel, G. F.; Hurlbut, D. E.; Metter, J. E., y col. (2001). Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 532-541.
- Martin, A. D.; Spenst, L. F.; Drinkwater, D. T., & Clarys, J. P. (1990). Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sports Exerc*, 22(5), 729-733.
- Mayhew, J. L.; Hancock, K.; Rollison, L.; Ball, T. E.; & Bowen, J. C. (2001). Contributions of strength and body composition to the gender difference in anaerobic power. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(1), 33-38.
- Melanson, E. L.; Sharp, T. A.; Seagle, H. M.; Donahoo, W. T.; Grunwald, G. K.; Peters, J. C., y col. (2002). Resistance and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Med Sci Sports Exerc*, 34(11), 1793-1800.
- Morgan, B.; Woodruff, S. J., & Tiidus, P. M. (2003). Aerobic energy expenditure during recreational weight training in females y males. *J Sports Sci & Med*, 2, 117-122.

- O'Hagan, F. T.; Sale, D. G.; MacDougall, J. D., & Garner, S. H. (1995). Response to resistance training in young women and men. *Int J Sports Med*, 16(5), 314-321.
- Ortego, A. R.; Dantzler, D. K.; Zaloudek, A.; Tanner, J.; Khan, T.; Panwar, R., y col. (2009). Effects of gender on physiological responses to strenuous circuit resistance exercise and recovery. *J Strength Cond Res*, 23(3), 932-938.
- Plyley, M. J. (1989). Physiological responses to circuit resistance training. *Can J Sport Sci*, 14(3), 131-132.
- Poehlman, E.; DeNino, W. F.; Beckett, T.; Kinaman, K. A.; Dionne, I. J.; Dvorak, R., y col. (2002). Effects of endurance and resistance training on total daily energy expenditure in young women: a controlled randomized trial. *J Clin Endocrinol Metab*, 87(3), 1004-1009.
- Rawson, E. S., & Walsh, T. M. (2010). Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry. *Med Sci Sports Exerc*, 42(3), 622-628.
- Robergs, R. A.; Gordon, T.; Reynolds, J., & Walker, T. B. (2007a). Energy expenditure during bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res*, 21(1), 123-130.
- Robergs, R. A.; Gordon, T.; Reynolds, J., & Walker, T. B. (2007b). Energy Expenditure During Bench Press and Squat Exercises. *J Strength Cond Res*, 21(1), 123-130.
- Rosdahl, H.; Gullstrand, L.; Salier-Eriksson, J.; Johansson, P., & Schantz, P. (2010). Evaluation of the Oxycon Mobile metabolic system against the Douglas bag method. *Eur J Appl Physiol*, 109(2), 159-171.
- Ruiz, J. R.; Sui, X.; Lobelo, F.; Morrow, J. R. Jr.; Jackson, A. W.; Sjostrom, M., y col. (2008). Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *Bmj*, 337, a439.
- Santana, J. C. (2001). Machines versus free weights. *strength and Conditioning Journal*, 23(5), 67-68.
- Scott, C. B. (2006). Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *J Strength Cond Res*, 20(2), 404-411.
- Scott, C. B., & Kemp, R. B. (2005). Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *J Sports Sci*, 23(1), 15-19.
- Scott, C. B.; Littlefield, N. D.; Chason, J. D.; Bunker, M. P., & Asselin, E. M. (2006). Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutr Metab (Lond)*, 3, 1.
- Sinoway, L.; Prophet, S.; Gorman, I.; Mosher, T.; Shenberger, J.; Dolecki, M., y col. (1989). Muscle acidosis during static exercise is associated with calf vasoconstriction. *J Appl Physiol*, 66(1), 429-436.
- Thornton, M. K., & Potteiger, J. A. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 715-722.
- Weir, J. B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, 109(1-2), 1-9.
- World Medical Association. (2004, 17/05/05). Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos. Retrieved 24/09/04, 2004, from <http://www.wma.net/s/policy/b3.htm>