

Efectos agudos de ejercicios de fuerza sobre el costo energético: revisión del impacto de las principales variables

Cláudia de Mello Meirelles^{I, II, III}; Paulo Sergio Chagas Gomes^{I, IV}

^IHealth Interdisciplinary Research Center □ Gama Filho University

^{II}Nutrition Department from the Bennett Methodist Institute □ Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^{III}Nutrition Department from the Gama Filho University □ Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^{IV}Physical Education Department from the Gama Filho University

ABSTRACT

The prevalence of obese and overweight persons is growing, both in Brazil and in other parts of the world. It is, therefore, important to establish strategies that will try to control this. The combination of energy restriction and aerobic exercises has long been recognized as an effective means of controlling body composition; on the other hand, the impact of resistance exercises on weight loss is still questionable. Thus, the purpose of this review was to discuss the effect of resistance exercises on energy expenditure, considering each of its related variables □ intensity, duration, number of sets, interval between sets, movement velocity and type of training (circuit or multiple sets). The reviewed studies showed that resistance exercises may induce an acute increase in energy expenditure, through the energy cost of the exercise session itself and through the excess post-exercise oxygen consumption (EPOC). It is also recognized that the many variables related to resistance exercises influence the results in different ways. Number of repetitions, load, rest interval between sets and number of sets, when manipulated in order to increase volume or intensity, may significantly increase the energy expenditure of a typical exercise session. In general, considering all the limitations of the reviewed studies, the literature indicates that volume is the variable with greatest impact on energy expenditure during the training session, and that intensity has its largest impact on EPOC.

Key words: Calories. Indirect calorimetry. EPOC. Overweight. Exercise. Obesity.

RESUMEN

Considerando la creciente prevalencia del sobrepeso y la obesidad en el Brasil y en varias partes del mundo, se torna necesario buscar estrategias que intenten su control. La asociación entre dieta y ejercicios físicos aeróbicos hace mucho es reconocida como una manera inócua y efectiva de controlar el problema, así como el impacto de la actividad contra resistencia en la pérdida de peso es además bastante cuestionable. Así, el objetivo de la presente revisión fue discutir el efecto termogénico de la actividad contra resistencia y el impacto de las diferentes variables □ intensidad, duración, número de series, intervalo entre las series, velocidad de ejecución y forma (circuito de series múltiples) a ella relacionadas. Los estudios apuntan que actividades contra resistencia pueden aumentar el gasto energético total en forma aguda, a través del propio costo energético de su ejecución, así como durante el período de recuperación (EPOC). Es reconocido también que las diversas variables asociadas al ejercicio contra resistencia afectan de manera distinta los resultados obtenidos. El número de repeticiones, carga, intervalo de recuperación entre series y el número de series, cuando son manipulados de forma de aumentar el volumen o la intensidad de la actividad, pueden, en un último análisis, aumentar de sobremanera el gasto energético resultante de una sesión típica de ejercicios. De una manera general, considerando todas las limitaciones de los estudios revisados, la literatura muestra que el volumen es la variable de mayor impacto sobre el gasto energético durante la realización de la actividad y la intensidad sobre el EPOC.

Palabras-clave: Calorías. Calorimetría indirecta. EPOC. Sobrepeso. Ejercicio. Obesidad.

INTRODUCCIÓN

La comprensión de los factores que afectan el balance de energía es de importancia clave para entender la regulación de la masa corporal. El balance de energía es determinado, por un lado, por el consumo de energía y, por el otro, por el gasto energético. Cuando estos factores no están en equilibrio, se puede producir una acumulación excesiva o reducción de energía guardada endógenamente como grasa corporal. Sin embargo, la obesidad es el resultado más frecuente del desequilibrio entre la ingesta de comida y el gasto energético.

El número de personas con sobrepeso ha estado aumentando en Brasil y en muchas otras partes del mundo. Recientes resultados revelaron que, entre la población que reside en Río de Janeiro, el 44% de los hombres y el 33% de las mujeres entre 26 y 45 años de edad tienen sobrepeso o son obesos (1).

La obesidad, según la Organización Mundial de la Salud (2), es considerada un problema de higiene pública que lleva a consecuencias sociales, psicológicas y físicas serias, y se asocia a riesgos mayores de morbilidad por enfermedades crónicas no-trasmisibles. Los individuos con un igual índice de masa corporal a o por encima de 30 kg·m⁻² son clasificados como obesos (2). Aunque las causas de este fenómeno son multifactoriales (3) y, por lo tanto,

difícil de ser establecidas, la comunidad científica considera sabio investigar maneras de aumentar el gasto energético diario a fin de reducir o controlar el predominio de la obesidad. El gasto energético de la actividad física es el componente más variable del gasto energético total. Puede aumentarse voluntariamente, contribuyendo a un balance de energía negativo cuando la ingesta de comida también es controlada (4).

Programas que combinan restricción de energía y ejercicios aeróbicos han sido, durante mucho tiempo, indicados para la pérdida de peso (5,6). Esto está justificado por el rol de la actividad física intensificando la pérdida de grasa y minimizando las reducciones en la masa magra observadas durante programas de dieta sola (7). Sin embargo, los recientes resultados indican que, cuando la restricción de comida es muy severa, esta combinación no puede ser suficiente para evitar pérdidas en la masa magra corporal (4,8), llevando por consiguiente a una reducción del gasto energético de reposo (9). La masa magra corporal es la variable que principalmente contribuye a este componente del gasto energético total.

Los ejercicios de fuerza han sido reconocidos como un componente importante de un programa de actividad física para adultos, llevando a ganancias en la fuerza, resistencia y potencia muscular (10,11). El aumento en la popularidad del entrenamiento de la fuerza durante las últimas dos décadas puede atribuirse a sus beneficios en la promoción de salud. Entre éstos, uno puede recalcar su rol en el mantenimiento o aumento de la masa libre de grasa (12,13) y tasa metabólica de reposo, incluso cuando es asociado con dietas hipo-energéticas (8,14,15). Sin embargo, el impacto real de los ejercicios de fuerza sobre la pérdida de peso todavía es cuestionable debido a la evidencia que se opone a lo de antes expresado (16,17), lo que lleva a la creencia que su beneficio principal sería principalmente derivado del aumento en el gasto energético diario relacionado al costo de realizar ejercicio (17,18).

Así, el propósito de esta revisión fue discutir el gasto energético de los ejercicios de fuerza, considerando cada una de sus variables relacionadas con la intensidad, duración, número de series, pausas entre las series, velocidad de movimiento y tipo de entrenamiento (circuito o múltiples series).

ACTIVIDAD FÍSICA Y GASTO ENERGÉTICO DIARIO

El gasto energético total está formado por tres componentes: el metabolismo de reposo, la termogénesis inducida por dieta (TID), y la actividad física. El ritmo metabólico de reposo (RMR) es definido como el gasto energético necesario para mantener los procesos fisiológicos en el estado post-absorción (el período que empieza aproximadamente 4 horas después de una comida y continuando hasta la próxima comida durante la cual que nada de glucosa está entrando en la circulación desde el intestino) y, dependiendo del nivel de actividad física, puede representar el 60 al 70% del gasto energético total aproximadamente. La TID se refiere al aumento en el ritmo metabólico sobre los niveles de reposo debido a la ingesta de comida y corresponde a aproximadamente el 10% del gasto energético total. La actividad física es el componente más variable y se relaciona al gasto energético necesario para la actividad del músculo esquelético. En los individuos sedentarios representa aproximadamente el 15% del gasto energético total, mientras que en los individuos físicamente activos esto puede alcanzar el 30% (19).

Los tres componentes están sujetos a cambios debido a factores externos y la actividad física puede causar aumentos agudos y crónicos en el gasto energético total. Los aumentos agudos serían debidos al costo energético de realizar ejercicios en sí y de la recuperación después de una sesión de ejercicio, y los aumentos crónicos serían debidos a las alteraciones en el RMR (20). Los efectos agudos se discutirán más adelante. Para una revisión de los efectos crónicos, el lector debe referirse a otros artículos disponibles en la literatura (21-24).

EL GASTO ENERGÉTICO DE LOS EJERCICIOS DE FUERZA

El American College of Sports Medicine (ACSM) (10) recomienda que el entrenamiento de la fuerza con el objetivo de proveer beneficios en la salud para la población adulta debe incluir al menos una serie de 8-12 repeticiones de cada uno de 8-10 ejercicios que involucren los grupos musculares más grandes. Recientemente, en una declaración específicamente apuntada al entrenamiento de la fuerza, el ACSM (11) recomendó intensidades y volumen mayores para un programa de entrenamiento que debe ser progresivo y periodizado, con intenciones de mejorar la fuerza muscular, la hipertrofia y la resistencia.

El problema al estudiar el gasto energético de los ejercicios de fuerza parece ser las muchas posibilidades diferentes de combinar los ejercicios (aquellos que involucran mayor masa

muscular incurren en un gasto energético significativamente más grande (25)), número de series, intervalo de pausa, número de repeticiones, velocidad de movimiento y carga. Al comparar los valores obtenidos en los diferentes estudios, se torna virtualmente casi imposible debido al gran número de variables. En suma, las características individuales como el sexo, la edad, la composición corporal y el nivel de fitness son considerados variables intermedias potenciales.

Debe mencionarse que el gasto energético en los varones siempre es significativamente superior que en las mujeres al realizar similares protocolos de ejercicio de fuerza. Esto es causado por una masa grasa libre más grande de varones, comparado a las mujeres. Estas diferencias se hacen despreciable cuando se expresan los resultados como kcal.kg⁻¹ de masa grasa libre (26,27), demostrando cómo el sexo y la composición corporal son importantes al interpretar los resultados.

La medición de intercambio de gas respiratorio o la calorimetría indirecta es la técnica más comúnmente usada para estimar el gasto energético de la actividad física, con una exactitud reportada de -2% y 4% (28). Por lo tanto, esta revisión incluyó sólo estudios que usaron esta técnica para medir el gasto energético de una sesión de ejercicio de fuerza (tabla 1) y durante su recuperación (tabla 2).

TABLA 1
Gasto Energético Neto (GE) de una sesión de ejercicio de fuerza

Autores	Sujetos	Edad (años)	Protocolo de Ejercicio	GE (kcal·min⁻¹)
Wilmore y cols. (33)	20 T M 20 T W	17-36 17-26	22.5 min. circuit, 10 ejercicios; 3 series. 15-18 reps al 40% 1 RM, 15 seg pausa	M: 5.8 W: 4.2
Ballor y cols. (12)	40 U T obesas W	33±2	42 min, 8 ejercicios; 2 series (10RM + 1 serie máx rep.)	3.3
Baillor y cols. (26)	20 T W 15 W T	25±4 23±4	37 min. circuito. 9 ejercicios; 3 series. 30 seg al 44% máx., intervalo pausa: 1:1. velocidad: lenta, media y rápida	Bajo H: 7.9: M: 5.2* H: 7.6: M: 5.1* Rápido: H:8.0: M: 5.0* (NS)
Pichon y cols. (40)	M y W	23-34	4 ejercicios; 2 series Circuito: 12 min. 20 reps al 47% 1 RM. 30 seg intervalo de pausa. Multiple-series: 15 min. 10 reps al 69% 1 RM. 90 segundos de interval pausa.	Circuito: 4.9* Multiples series: 4.5* (NS)
Burleson y cols. (53)	15 T M	20-26	27 min. 8 exerc.. 2 sets. 10 reps at 60% 1 RM, 1 min int.	6.4*
De Groot y cols. (38)	9 UT M con CAD	54-75	Circuito. 6 ejercicios; 3 series. 30 segundos pausa (1) 18 min. 60% 1 RM. 30 seg. (2) 27 min, 60% 1 RM. 60 seg. (3) 18 min, 40% 1 RM. 30 seg. (4) 27 min, 40% 1 RM. 60s seg.	(1) 3.8: (2) 3.5: (3) 3.8: (4) 3.0 (p < 0.05 entre la condición 4 y las otras)
Haltom y vols. (39)	7 T M	27±1	Circuito. 8 ejercicios; 2 series. 20 reps al 75% de 20RM. Dos intervalos: 20 seg (duración 13 min) y 60 seg (duración 23 min)	20 seg: 8.5 60 seg: 6.7 (p < 0.05)
Beckam y Earnest (27)	12 T M 18 T W	19-41 18-45	14 min, 5 ejercicios. Usando una barra con pesas. Liviano: 1.4 kg para ambos sexos Moderado: M: 10.5 kg: W: 5.9 kg	M: Liviano: 5.0 Moderado: 6.2 W: Liviano: 3.6 Moderado: 4.1 (p < 0.01 entre condiciones)

Binzen y cols. (31)	12 T W	24-34	45 min. 10 ejercicios; 3 series, 10 reps al 70% 1RM, 1 min interval de pausa.	2.3
Thornton y Potteiger (32)	14 T W	27±5	9 ejercicios, 2 series, 1 min interval de pausa . Dos intensidades: Liviana: 26 min. 15 reps al 45% 8 RM Pesado: 23 min. 8 reps al 85% 8 RM	Liviano: 2.8 Pesado: 2.8 (NS)
Melanson y cols. (58)	10 T M	31±7	60 min + 10 min calentamiento, circuito. 10 ejercicios; 4 series. 10 reps al 70% 1 RM (última serie hasta la fatiga). Interval de pausa no reportado	6.0
Hunter y cols. (41)	7 T M	24±4	29 min. 10 ejercicios; 1 min int. de pausa Multiple series: 2 series. 8 reps al 65% 1RM <i>Super lento</i> 1 serie. 8 reps al 25% 1RM	Múltiples series: 3.9* <i>Super lento</i> : 2.5* (p < 0.05)
Phillips y cols. (42)	6 T M 6 T W	27±4	24 min. 8 ejercicios, 1 serie, 15 RM, 2 min pausa	M: 5.6 W: 3.4
M = hombres; W = mujeres; T = entrenado; UT = desentrenado; CAD = enfermedad coronaria * Calculado del reporte original del consume neto de O2 multiplicado por 5 kcal				

TABLE 2. Gasto energético neto (GE) durante la recuperación del ejercicio de fuerza

Autores	Sujetos	Edad (años)	Protocolo de Ejercicio	Gasto Energético
Melby y cols. (50)	6 T M	21-37	42 min. 7 ejercicios, 3 series, 10-12 RM. 2 min de pausa	~19 kcal medido durante 60 min
Olds y Abernethy (54)	7 T M	20-55	56 min, circuito. 7 ejercicios, 2 series, 3.5 min de pausa. Pesado: 12 reps al 75% 1RM Liviano: 15 reps al 60% 1RM	Pesado: 39±40 kcal Liviano: 31±33 kcal (NS entre condiciones) EPOC duró 60 min
Melby y cols. (29)	7 T M	20-40	96 min, 10 ejercicios, 5 series, 70% 1RM, 4 min de pausa	35±6 kcal medido durante 2 hs
Burleson y cols. (53)	15 T M	20-26	27 min, 8 ejercicios, 2 series. 10 reps al 60% 1 RM. 1 min de pausa	51 kcal* medido durante 30 min
Haltom y cols. (39)	7 T M	27±1	Circuito. 8 ejercicios, 2 series de 20 reps al 75% de 2ORM. 2 intervalos entre series: 20 seg (13 min sesión) y 60 seg (23 min sesión)	20 seg: 52±3 kcal 60 seg: 37±2 kcal (p < 0.05) medido durante 60 min
Binzen y cols. (31)	12 T W	24-34	45 min, 10 ejercicios, 3 series. 10 reps al 70% 1RM. 1 min de pausa	31 kcal* medido durante 60 min
Thornton y Potteiger(32)	14 T W	27±5	9 ejercicios, 2 series, 1 min pausa. Pesado: 23 min. 8 reps al 85% 8RM: Liviano: 26 min. 15 reps al 45% 8RM	Pesado: 11±2 kcal Liviano: 6±1 kcal (p < 0.05) EPOC duró entre 60 y 105 min
Schuenke y cols. (51)	7 T M	19-26	Circuito, 31 min. 3 ejercicios, 4 series. Máx reps con carga de 10RM. 2 min de pausa	EE no reportado EPOC duró 38 hs
M = hombres; W = mujeres; T = entrenado; UT = desentrenado; CAD = enfermedad coronaria * Calculado del reporte original del consume neto de O2 multiplicado por 5 kcal				

1. El gasto energético durante una sesión de ejercicio de fuerza

El gasto energético durante una sesión de ejercicio de fuerza (series múltiples consecutivas o circuito) se ha investigado en pocos estudios, con resultados que indican una gama amplia de valores, de 64 a 534 kcal (29-32).

Durante los años setenta, Wilmore y cols. (33) llevaron a cabo el primer estudio en este tema y encontraron que los hombres y mujeres entrenados, de 17 a 36 años de edad, en promedio

gastaba 131 kcal y 95 kcal, respectivamente, durante un circuito de 22 minutos de ejercicios livianos.

Muchas otras investigaciones se llevaron a cabo en las siguientes décadas, la mayoría de las cuales con no-atletas y, por consiguiente, usando intensidades de ejercicio muy inferior que aquellas empleadas en el entrenamiento competitivo. Sin embargo, un estudio con halterófilos Olímpicos (25) demostró que el gasto energético durante una sesión de entrenamiento típico de fase preparatoria era aproximadamente de 392 kcal (11 kcal.min⁻¹). Estos valores eran muy superiores que aquellos reportados para las muestras de sujetos no atléticos de entrenamiento de la fuerza (aproximadamente 6 kcal.min⁻¹). Debe señalarse, sin embargo, que el último estudio tiene limitaciones serias respecto a la descripción de las variables importantes para el protocolo de ejercicio, como la intensidad, el número de series y el volumen total. En suma, el gasto energético fue medido durante los períodos de actividad, y se excluyó los intervalos de pausa entre las series. No hay también ninguna mención sobre si los resultados representan valores netos o brutos, lo que impiden la comprensión de los resultados y las comparaciones a otros estudios.

Los factores que más contribuyen al gasto energético de la actividad aeróbica son la duración y la intensidad (34). Chad y Wenger (35), al exponer adultos jóvenes de ambos sexos a pedalear al 70% del VO₂max durante 30, 45 y 60 minutos, encontraron que el gasto energético mostró una relación lineal con la duración del ejercicio. El gasto energético neto fue aproximadamente de 10.6 kcal.min⁻¹ para las tres condiciones (valores obtenidos multiplicando VO₂ (en litros) por 5 kcal).

No es posible medir el efecto de la duración sola en una sesión de ejercicio de fuerza de series múltiples. Para hacer eso, sería necesario manipular el intervalo de pausa entre las series, lo que podría influir eventualmente la intensidad y/o el trabajo total (definido aquí como el producto del número de repeticiones y la carga). Se sabe que en tanto el intervalo de pausa disminuye entre las series, la intensidad relativa aumenta (36,37).

No obstante, fue posible estudiar el efecto de la duración a lo largo de una sesión de entrenamiento en circuito con pesas. Los resultados demostraron que el intervalo de pausa entre las estaciones estuvo directamente relacionado al consumo de oxígeno (L.min⁻¹), es decir, los protocolos con intervalos de pausa más largos requirieron más tiempo para ser realizado y, por consiguiente, un VO₂ absoluto mayor para la sesión de ejercicio (26,38,39). Debe señalarse, sin embargo, que estos estudios mostraron serias amenazas a la validez externa, como el número de repeticiones (20RM), el tiempo en cada estación (5 a 40 segundos), y la baja intensidad (40 a 60% de 1RM) usadas para evaluar, esté lejos de aquellas recomendadas para ganancias en la fuerza muscular e hipertrofia (10,11).

En una comparación entre protocolos de ejercicio de fuerza de serie múltiple continua y circuito, Pichon y cols. (40) observaron mayor gasto energético para el entrenamiento en circuito. Sin embargo, los dos protocolos en este estudio no sólo variaron en el formato del protocolo, sino también en el volumen, número de repeticiones, intensidad e intervalo entre las series, poniendo en peligro cualquier comparación. Es interesante notar que la intensidad del ejercicio fue pertinente en la determinación del gasto energético, puesto que la proporción intensidad:trabajo total fue más grande para el protocolo tradicional (mayor intensidad y menor volumen que para el protocolo en circuito). Pero este resultado también es difícil de interpretar, puesto que el gasto energético fue calculado agregando la de la sesión de ejercicio a la de los primeros minutos de la recuperación. Así, es posible que la intensidad tuviera un impacto mayor en el período de la recuperación que durante la sesión del ejercicio. Debido al diseño del estudio, no fue posible aislar el efecto de la intensidad del ejercicio en la sesión en sí.

No se han investigado bien los efectos de la intensidad sobre el gasto energético, pero parece ser que ellos son más pronunciados durante la recuperación del ejercicio (32). Los ejercicios de fuerza tradicionales de intensidades diferentes, pero el mismo volumen total, parecen demandar la misma cantidad de energía, al menos en mujeres jóvenes entrenadas (32).

Otra variable que no se ha investigado apropiadamente es la velocidad del movimiento. Hunter y cols. (41) demostraron que el gasto energético de una sesión de ejercicio usando un equipo isotónico y realizado con velocidad super-lenta (10 segundos la fase concéntrica; 5 segundos la fase excéntrica) fue sólo del 69% de la de una sesión de ejercicio de fuerza tradicional con la misma duración. Esta diferencia probablemente puede explicarse por el trabajo total menor del protocolo super-lento. Por otro lado, Ballor y cols. (26) reportaron que el gasto energético

era independiente de la velocidad del movimiento, comparando protocolos de ejercicio con igual duración y, similarmente, volumen más bajo para las velocidades más lentas.

La comparación de estos dos estudios que investigaron la velocidad de movimiento es limitada por el hecho de que, en el primer estudio, la intensidad era diferente para los dos protocolos, y, en segundo lugar, se realizaron ejercicios en un circuito y usando equipo hidráulico. Esto llevaría a uno a considerar que las respuestas fisiológicas no sólo pueden ser debidas a la velocidad y al volumen total, sino también al tipo de protocolo (circuito o series múltiples), equipos usados, y probablemente la eficiencia del movimiento.

Recientemente, Phillips y Ziuraitis (42) midieron el gasto energético requerido para realizar una serie de 8 ejercicios de fuerza, como es recomendado por el ACSM (10) para promover beneficios en la salud para los adultos, y demostraron que ese protocolo era adecuado en términos de la intensidad (alrededor de 4 METS - intensidad moderada). Sin embargo, el gasto energético de la sesión del ejercicio fue considerado bajo (aproximadamente 135 kcal para los varones y 82 kcal para las mujeres), mostrando la necesidad de complementar ese protocolo. Los autores indicaron incluso un o dos ejercicios que involucren grupos musculares grandes para los hombres. Para las mujeres, ellos sugirieron que realicen 2 series, en lugar de una para lograr la recomendación mínima de 150 kcal de gasto energético diario provista para por los ejercicios físicos.

En resumen, si el volumen realmente es la variable con mayor impacto sobre el gasto energético del ejercicio de fuerza (como parece ser el caso para los ejercicios isotónicos), esto significaría que no hay ninguna necesidad de usar altas intensidades cuando el objetivo es aumentar el gasto energético. Esto podría aplicarse a desentrenados o individuos con sobrepeso y, aunque refiriéndose específicamente no al entrenamiento de la fuerza, hay evidencia de que programas de ejercicio de alta intensidad se relacionan a una menor adhesión en esta población (43).

La Tabla 1 resume los estudios que investigaron el gasto energético durante una sesión de ejercicio de fuerza.

2. Consumo excesivo de oxígeno post-ejercicio (EPOC)

Después del ejercicio, el consumo de oxígeno se mantiene elevado por sobre los niveles de reposo durante un cierto período de tiempo, mostrando mayor gasto energético durante este período. Este consumo de oxígeno extra se llama EPOC. Aunque este fenómeno es bien reconocido, su magnitud, duración y bases metabólicas necesitan ser entendidas bien, y así, los efectos de diferentes variables relacionadas a los ejercicios físicos.

En relación a los ejercicios aeróbicos, se ha sabido durante mucho tiempo que el gasto energético puede permanecer elevado para más de 12 horas después del final de un ejercicio en un cicloergómetro (44,45), produciendo un gasto adicional de 73 a 150 kcal (46,47). Se considera que la duración y la intensidad del ejercicio interfieren en la magnitud si las respuestas, donde la relación al EPOC es lineal para la duración y exponencial para la intensidad (46-48).

Sin embargo, Chad y Wenger (35) observaron que aumentando la duración de la actividad (en cicloergómetro al 70% de VO_{2max} durante 30, 45 ó 60 minutos) también producía un aumento exponencial en el EPOC. Estos autores también encontraron que el gasto energético durante el EPOC aumentó aproximadamente 2 veces después de 45 minutos de actividad y más de 5 veces después de 60 minutos, cuando se comparó a 30 minutos. Estos resultados son únicos en la literatura, puesto que estos mismos autores y otros (46,49) ya habían reportado que el EPOC aumentaba linealmente con la duración del ejercicio al 70% del VO_{2max} . Además, debe señalarse que la muestra estudiada por Chad y Wenger (35) fue hecho de sólo 5 sujetos y de ambos sexos (2 varones y 3 mujeres).

Más recientemente, las investigaciones se han enfocado sobre el efecto del ejercicio de fuerza sobre el EPOC y una gama amplia de resultados se ha encontrado (yendo, en promedio, de 6 a 114 kcal durante 60 minutos a 15 hs después del fin del ejercicio) (29,31,32,50). Más aún, resultados sorprendentes fueron vistos por Schuenke y cols. (51), quienes estudiaron a hombres jóvenes entrenados después de una sesión de ejercicio de circuito de pesas y observó que el EPOC se mantenía significativamente por encima de los valores de reposo durante 38 hs después de la terminación de la actividad. La contribución importante de este estudio cuenta en el hecho de que el VO_2 de reposo fue medido en el día que precedió a las mediciones del ejercicio, pero en el mismo momento del día cuando el EPOC fue medido. De

esta forma, las posibles diferencias debidas a las variaciones circadianas sobre el gasto energético fueron descartadas.

Una vez más, como se mencionó anteriormente en la sesión sobre el gasto de energía durante la sesión de ejercicio, las amplias diferencias encontradas en el EPOC son debidas a las muchas combinaciones posibles de las variables involucradas en el entrenamiento de la fuerza. Estas muchas combinaciones hacen difícil de comparar e interpretar los resultados de los diferentes estudios. Sin embargo, la literatura indica que ciertas variables pueden tener efectos sobre el EPOC, diferentes de aquellas reportadas antes respecto al gasto energético de la sesión de ejercicio.

Algunos investigadores compararon el impacto de ejercicios de fuerza y ejercicio aeróbico, y demostraron que los ejercicios de fuerza pueden producir un EPOC significativamente más grande (52).

Burleson y cols. (53) compararon la duración y la magnitud del EPOC en una sesión típica de ejercicios de fuerza con la de ejercicios aeróbicos con la misma duración (27 minutos) e intensidad (aproximadamente 44% del VO₂máx). Los resultados demostraron que el consumo de oxígeno permanecía significativamente elevado hasta 90 minutos después de terminar los ejercicios de fuerza y sólo 30 minutos después de la actividad aeróbica. El EPOC fue significativamente superior durante los primeros 30 minutos después de los ejercicios de fuerza (19 litros) que después del ejercicio aeróbico (12.7 litros), representando un gasto adicional de 95 y 64 kcal, respectivamente.

La variable con mayor impacto sobre el EPOC parece ser la intensidad y, en vista del conocimiento actual, sólo un estudio (54) contradice este afirmativo.

Con el objetivo de investigar los efectos de la intensidad sobre el EPOC, Thornton y Potteiger (32) probaron a 14 mujeres jóvenes entrenadas en dos condiciones con ejercicios de fuerza de mismo volumen y mismos intervalos de pausa intra-series. El grupo de alta intensidad (23 minutos, 8 reps al 85% de 8RM) fue demostrado de tener un EPOC significativamente superior que el grupo de baja intensidad (26 minutos, 15 reps al 45% de 8RM), similar a las respuestas al ejercicio aeróbico (47).

Probando el efecto de intervalos de pausa entre las estaciones de una sesión de ejercicio de circuito de pesas sobre el EPOC, Haltom y cols. (39) demostraron que el protocolo de intervalo corto (20 segundos) producía un EPOC significativamente superior que el de más tiempo (60 segundos). Esto también demuestra el efecto de la intensidad sobre el EPOC, puesto que el intervalo de pausa entre las series es una de las variables que determinan la intensidad del ejercicio de fuerza (36,37). Los autores notaron aún más que era el componente rápido del EPOC el que era principalmente influenciado por el intervalo de pausa más corto entre los ejercicios.

Los factores metabólicos responsables del EPOC todavía no están claros, pero se sabe que hay un componente rápido y otro lento. El componente rápido dura sólo unos minutos y se relaciona principalmente a la elevación de la concentración de lactato sanguíneo (31) y a la refosforilación de la creatina del músculo (55). El componente lento se relaciona principalmente a la magnitud del metabolismo anaeróbico durante el ejercicio.

Actividades de alta intensidad producen una activación mayor del sistema nervioso simpático (56), lo que a su vez provoca un aumento post-ejercicio en el metabolismo de los lípidos en respuesta a los cambios en el sustrato predominantemente usado para la producción de energía (de los carbohidratos durante la intensa actividad a los lípidos durante la recuperación). Uno de los factores más importantes responsable del gasto energético superior visto durante varias horas después de la intensa actividad es el estímulo del ciclo del triglicérido-ácido graso en el tejido adiposo. Adicionalmente, otros aspectos a ser considerados son la resíntesis del glucógeno (52), la lesión del tejido y los efectos que llevan a la hipertrofia muscular como resultado del entrenamiento de la fuerza (57), que también pueden causar un gasto energético mayor.

El aumento en la oxidación de los lípidos en respuesta al ejercicio de fuerza es otro factor que debe ser considerado debido a su importancia en el control del peso. Los varios estudios reportaron un coeficiente de intercambio respiratorio significativamente inferior comparado al medido antes del ejercicio o en grupos de control, lo que significa una utilización mayor de las grasas para la producción de energía durante las horas post-ejercicio (29,31,48).

Sin embargo, Melanson y cols. (58) demostraron que la oxidación de grasas de 24-hs (medido en una cámara de calorimetría) no era estadísticamente diferente entre los días cuando los sujetos realizaban ejercicio aeróbico o ejercicios de fuerza y ningún ejercicio, situación de

control. En base a esta evidencia, parecería que la oxidación de grasas mayor reportada en algunos estudios no puede representar un aumento real de largo plazo en el uso de lípidos como sustrato de energía. La mayoría de los estudios restringieron la medición del coeficiente de intercambio respiratorio a unos minutos inmediatamente post-ejercicio.

Hay menos estudios sobre la duración del EPOC que en su magnitud. Melby y cols. (29) observaron que el RMR de varones jóvenes entrenados permanecía significativamente elevado durante 15 horas después de una sesión de ejercicio de fuerza que comprendía 7 ejercicios, 3 series de 10-12RM e intervalos de 2 minutos entre las series. Esto representó un gasto energético de aproximadamente 100 kcal. Los autores concluyeron que el impacto mayor sobre la magnitud y la duración del EPOC era la alta intensidad.

La Tabla 2 resume la información de las investigaciones sobre el gasto energético durante la recuperación de sesiones de ejercicio de fuerza.

En resumen, el EPOC resultante de una única sesión de ejercicio de fuerza no representa un gran impacto en el balance de energía; sin embargo, su efecto acumulativo puede ser relevante. Dependiendo de la selección del ejercicio, intensidad y frecuencia de entrenamiento, la suma de la energía expendida durante la recuperación puede ser importante sobre el mayor gasto energético total, contribuyendo así al manejo o reducción del peso corporal.

CONCLUSIÓN

En base al conocimiento actual y considerado todas las variables relacionadas al entrenamiento de la fuerza, no es todavía posible determinar el mejor protocolo de ejercicio para aumentar el gasto energético sustancialmente. Se necesitan nuevos estudios para investigar los efectos de la velocidad de movimiento y de la combinación de ejercicios aeróbicos y ejercicios con pesas. Aún más, es importante establecer los efectos de las características individuales, como el estado nutricional, edad, sexo, composición corporal y nivel del fitness, sobre el gasto energético del ejercicio de fuerza. Nuevos estudios deben controlar estas variables para aislar la contribución de cada uno al gasto energético del ejercicio de fuerza. Considerado todas las limitaciones de los estudios repasados, la literatura indica que las variables que principalmente influyen en el gasto energético del ejercicio de fuerza son el volumen y la intensidad, durante la sesión del ejercicio en sí y el EPOC, respectivamente.

REFERENCIAS

1. Sichieri R, editor. Epidemiologia da obesidade. Rio de Janeiro: Eduerj, 1998.
2. World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: World Health Organization, 1998.
3. Bouchard C. Can obesity be prevented? *Nutr Rev* 1996;2:S125-30.
4. Ballor DL, Harvey-berino JR, Ades PA, Cryan J, Calles-Escandon J. Contrasting effects of resistance and aerobic training on body composition and metabolism after diet-induced weight loss. *Metabolism* 1996; 45:179-83.
5. Wilmore JH. Body composition in sports and exercise: directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15:21-31.
6. Hagan RD, Upton SJ, Wong L, Whittam J. The effects of aerobic conditioning and/or caloric restriction in overweight men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:87-94.
7. Ballor DL, Poehlman EC. Exercise-training enhances fat-free mass preservation during diet-induced weight loss: a meta-analytical finding. *Int J Obes* 1994;18:35-40.
8. Bryner RW, Ullrich IH, Sauers J, Donley D, Hornsby G, Kolar M, et al. Effects of resistance vs. aerobic training combined with an 800 calorie liquid diet on lean body mass and resting metabolic rate. *J Am Coll Nutr* 1999;18:115-21.
9. Henson LC, Poole DC, Donahoe CP, Heber D. Effects of exercise training on resting energy expenditure during caloric restriction. *Am J Clin Nutr* 1987;46:893-9.
10. American College of Sports Medicine. Position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:975-91.
11. American College of Sports Medicine. Position stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34: 364-80.
12. Ballor DL, Katch VL, Becque MD, Marks CR. Resistance weight training during caloric restriction enhances lean body weight maintenance. *Am J Clin Nutr* 1988;47:19-25.
13. Ross R, Pedwell H, Rissanen J. Response of total and regional lean tissue and skeletal muscle to a program of energy restriction and resistance exercise. *Int J Obesity* 1995;19:781-7.
14. Svendsen OL, Hassager C, Christiansen C. Effects of an energy-restrictive diet, on lean tissue mass, resting metabolic rate, cardiovascular risk factors, and bone in overweight postmenopausal women. *Am J Med* 1993; 95:131-40.
15. Ryan AS, Pratley RE, Elahi D, Goldberg AP. Resistive training increases fat-free mass and maintains resting metabolic rate despite weight loss in postmenopausal women. *J Appl Physiol* 1995;79:818-23.
16. Kraemer WJ, Volek JS, Clark KL, Gordon SE, Inclon T, Puhl SM, et al. Physiological adaptations to a weight-loss dietary regimen and exercise programs in women. *J Appl Physiol* 1997;83:270-9.

17. Poehlman ET, Denino WF, Beckett T, Kinaman KA, Dionne IJ, Dvorak R, et al. Effects of endurance and resistance training on total daily energy expenditure in young women: a controlled randomized trial. *J Clin Endocrinol Metab* 2002;87:1004-9.
18. American College of Sports Medicine. Position stand: Appropriate intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:2145-56.
19. FAO/OMS/UNU. Necessidades de energia e proteína: Série de relatos técnicos 724. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 1998.
20. Hill JA, Melby C, Johnson SL, Peters JC. Physical activity and energy requirements. *Am J Clin Nutr* 1995;62:S1059-66.
21. Poehlman ET, Melby CL, Goran M. The impact of exercise and diet restriction on daily energy expenditure. *Sports Med* 1991;11:78-101.
22. Sjödin AM, Forslund AH, Westerterp K, Andersson AB, Forslund JM, Hambræus LM. The influence of physical activity on BMR. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:85-91.
23. Poehlman ET, Melby C. Resistance training and energy balance. *Int J Sport Nutr* 1998;8:143-59.
24. Ceddia RB. Composição corporal, taxa metabólica e exercício. *Rev Bras Fisiol Exerc* 2002;1:143-56.
25. Scala D, Mcmillan J, Blessing D, Rozenek R, Stone M. Metabolic cost of a preparatory phase of training in weight lifting: a practical observation. *J Appl Sport Sci Res* 1987;1:48-52.
26. Ballor DL, Becque MD, Katch VL. Energy output during hydraulic resistance circuit exercise for males and females. *J Appl Sport Sci Res* 1989;3:7-12.
27. Beckham SG, Earnest CP. Metabolic cost of free weight circuit weight training. *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40:118-25.
28. Croonen F, Binkhorst RA. Oxygen uptake calculated from expiratory volume and analysis only. *Ergonomics* 1974;17:113-7.
29. Melby C, Scholl C, Edwards G, Bullough R. Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. *J Appl Physiol* 1993;75:1847-53.
30. Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, Bamman MM. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* 2000;89:977-84.
31. Binzen CA, Swan PD, Manore M. Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:932-8.
32. Thornton K, Potteiger JA. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34: 715-22.
33. Wilmore JH, Parr RB, Ward P, Vodak PA, Barstow TJ, Pipes TJ, et al. Energy cost of circuit weight training. *Med Sci Sports Exerc* 1978;10: 75-8.
34. Hunter GR, Weinsier RL, Bamman MM, Larson DE. A role for high intensity exercise on energy balance and weight control. *Int J Obes* 1998; 22:489-93.
35. Chad KE, Wenger HA. The effect of exercise duration on the exercise and post-exercise oxygen consumption. *Can J Spt Sci* 1988;13:204-7.
36. Larson GD, Potteiger JAA. Comparison of three different rest intervals between multiple squat bouts. *J Strength Cond Res* 1997;11:115-8.
37. Abdessemed D, Duché P, Hautier C, Poumarat G, Bedu M. Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *Int J Sports Med* 1999;20:368-73.
38. DeGroot DW, Quinn TJ, Jertzer R, Vroman NB, Olney WB. Circuit weight training in cardiac patients: determining optimal workloads for safety and energy expenditure. *J Cardiopulm Rehabil* 1998;18:145-52.
39. Haltom RW, Kraemer RR, Sloan RA, Hebert EP, Frank K, Tryniecki JL. Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc* 1999;31:1613-8.
40. Pichon C, Hunter GR, Morris M, Bond RL, Metz J. Blood pressure and heart rate response and metabolic cost of circuit versus traditional weight training. *J Strength Cond Res* 1996;10:153-6.
41. Hunter GR, Seelhorst D, Snyder S. Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *J Strength Cond Res* 2003;17:76-81.
42. Phillips WT, Ziuraitis JR. Energy cost of the ACSM single-set resistance training protocol. *J Strength Cond Res* 2003;17:350-5.
43. Pollock ML. Prescribing exercise for fitness and adherence. In: Dishman R, editor. *Exercise adherence – its impact on public health*. Champaign, Ill: Human Kinetics, 1988;259-77.
44. DeVries HA, Gray DE. After effects of exercise upon resting metabolic rate. *Res Q* 1963;34:314-21.
45. Maehlum S, Grandmontagne M, Newsholme EA, Sejersted OM. Magnitude and duration of excess postexercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metabolism* 1986;35:425-9.
46. Bahr R, Inghes I, Vaage O, Sejersted OM, Newsholme EA. Effect of duration of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *J Appl Physiol* 1987;62:485-90.
47. Bahr R, Sejersted OM. Effect of intensity of exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Metabolism* 1991;40:836-41.
48. Phelain JF, Reinke E, Harris MA, Melby CL. Postexercise energy expenditure and substrate oxidation in young women resulting from exercise bouts of different intensity. *J Am Coll Nutr* 1997;16:140-6.
49. Chad KE, Wenger HA. The effect of duration and intensity on the exercise and post-exercise metabolic rate. *Aust J Sci Med Sports* 1985;17: 14-8.
50. Melby CL, Tincknell T, Schmidt WD. Energy expenditure following a bout of non-steady state resistance exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 1992;32:128-35.
51. Schuenke MD, Mikat P, McBride JM. Effect of an acute period of resistance exercise on excess post-exercise oxygen consumption: implications for body mass management following a bout of heavy resistance exercise. *Eur J Appl Physiol* 2002;86:411-7.
52. Elliot DL, Goldberg L, Kuel KS. Effect of resistance training on excess post-exercise oxygen consumption. *J Appl Sport Sci Res* 1992;6:77-81.
53. Burleson MA, O'Bryant HS, Stone MH, Collins MA, Triplet-McBride T. Effect of weight training and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:518-22.

54. Olds TS, Abernethy PJ. Postexercise oxygen consumption following heavy and light resistance exercise. *J Strength Cond Res* 1993;7:147-52.
55. Gaesser GA, Brooks GA. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:29-43.
56. Pratley R, Nicklas B, Rubin M, Miller J, Smith A, Smith M, et al. Strength training increases resting metabolic rate and norepinephrine levels in healthy 50- to 65-yr-old men. *J Appl Physiol* 1994;76:133-7.
57. Vierck J, O'Reilly B, Hossner K, Antonio J, Byrne K, Bucci L, Dodson M. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Int* 2000;24:263-72.
58. Melanson EL, Sharp TA, Seagle HM, Donahoo WT, Grunwald GK, Peters JC, et al. Resistance training and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:1793-800.

Correspondence to Paulo Sergio Chagas Gomes, Ph.D. Departamento de Educação Física Universidade Gama Filho Rua Manoel Vitorino 625, Piedade 20748-900 □ Rio de Janeiro, RJ Tel./fax: (21) 2599-7138 E-mail: crossbridges@ugf.br

Received in 29/12/03 2nd version received in 24/2/04 Approved in 4/3/04