PubliCE, (PubliCE) 2010

Monograph

Características Cardiorrespiratorias y Respuesta del Colesterol a una Única Sesión de Ejercicio de Press de Piernas con Cargas Altas

Gregory C Bogdanis, María Maridaki y Zoé K Pafili

Department of Sports Medicine and Physiotherapy, Guru Nanak Dev University, Amritsar, India.

RESUMEN

El efecto del ejercicio con sobrecarga sobre los lípidos sanguíneos aún no es claro. El propósito del presente estudio fue analizar las respuestas del colesterol a una sesión de ejercicio de press de piernas con altas cargas, enfatizando la fase excéntrica del movimiento, 24 y 48 horas después del ejercicio; y cuantificar las respuestas cardiorrespiratorias de la serie de ejercicios para intentar aclarar las características del ejercicio que pueden ser las responsables de los efectos del ejercicio con sobrecarga de alta intensidad sobre los lípidos sanguíneos. Nueve voluntarios en buen estado de salud y sin entrenamiento de 27.2 ± 1.1 años de edad (76.2 ± 2.5 kg, 1.79 ± 0.02 m) realizaron una sesión de RE con cargas altas con énfasis en la fase excéntrica del movimiento, que consistió de ocho series de press de piernas inclinado en seis repeticiones máximas con períodos de recuperación de 3 minutos. Se obtuvieron muestras de sangre venosa con los sujetos en reposo (control) y 24 y 48 horas después del ejercicio. El VO_2 en reposo fue de 4.0 ± 0.4 ml·min^{-1}·kg^{-1}, durante el ejercicio fue de 19.6 ± 0.2 ml·min^{-1}·kg^{-1} y durante el período de recuperación de 180 segundos entre series, de 12.5 ± 0.2 ml·min^{-1}·kg^{-1}. Los valores del RER disminuyeron con la progresión del ejercicio y fueron significativamente más bajos durante las últimas cuatro series, en comparación con las cuatro primeras series de la sesión de ejercicio. La frecuencia cardiaca durante el descanso fue de 67 ± 2 latidos·min^{-1}, y la frecuencia cardiaca máxima durante el ejercicio, de 168 ± 1 latidos·min^{-1}. La concentración sérica de creatina quinasa fue significativamente más elevada el primer día (1090 ± 272 U·L^{-1}, $p < 0.03$) y tuvo su pico el segundo día (1230 ± 440 U·L^{-1} $p < 0.01$). El colesterol total, el colesterol HDL y la concentración de colesterol LDL calculada no cambiaron de manera significativa después del ejercicio. Este protocolo de ejercicio con sobrecarga de alta intensidad no tiene efectos sobre el TC ni sobre la concentración de la sub-fracción de colesterol 24 y 48 horas después del ejercicio, lo que puede deberse al bajo gasto energético del ejercicio y/o al género de los participantes.

Palabras Clave: daño muscular, gasto energético, colesterol total, HDL, consumo de oxígeno

INTRODUCCION

La utilización del ejercicio con sobrecarga (RE) para mejorar la aptitud física en relación con la salud ha aumentado de manera considerable durante los últimos años (Centros para el Control y Prevención de Enfermedades, 2006). El Colegio Americano de Medicina del Deporte ha recomendado el RE como medio efectivo para mejorar la fuerza y la resistencia

muscular, la masa libre de grasa y la densidad mineral ósea (Pollock et al., 1998). Asimismo, la Asociación Cardiológica Americana recomienda el RE como complemento del ejercicio aeróbico para reducir los factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares (Williams et al., 2007). Estudios previos han demostrado que el RE puede reducir la lipemia postprandial 16 horas después del ejercicio (Pafili et al., 2009; Petitt et al., 2003; Zafeiridis et al., 2007), pero el efecto del RE sobre el colesterol total (TC) y la concentración de las sub-fracciones de colesterol sigue siendo controversial. Hay poca evidencia con respecto al efecto agudo del RE sobre el TC, pero la mayoría de los estudios no ha podido demostrar un efecto (Hill et al., 2005; Jurimae et al., 1990; Magkos et al., 2008; Wallace et al., 1991). No obstante, cuando se realizan contracciones excéntricas y se produce un daño muscular, se ha reportado que el TC no disminuye inmediatamente después, sino de uno a cuatro días después del ejercicio (Nikolaidis et al., 2008; Paschalis et al., 2010; Shahbazpour et al., 2004; Smith et al., 1994). Todos estos autores, en parte, atribuyen esto a la extracción de colesterol de la sangre para ayudar a la resíntesis de las membranas alteradas de la célula muscular.

Sin embargo, no se conocen los mecanismos exactos y se continúa especulando si este efecto se debe al daño muscular o al gasto energético del ejercicio. Al analizar la literatura relevante, un problema en la comparación de los efectos de los diferentes protocolos de RE sobre los lípidos sanguíneos es que las características del ejercicio no se cuantifican ni describen adecuadamente, y además varían de manera significativa entre los estudios (Durstine y Haskell, 1994). Aunque existe evidencia de que el efecto del RE sobre los lípidos sanguíneos depende de la intensidad y el volumen del ejercicio (Lira et al., 2009; Tucker y Silvester, 1996), los pocos estudios que analizaron el efecto del RE excéntrico sobre el TC y la concentración de la sub-fracción de colesterol (Nikolaidis et al., 2008; Paschalis et al., 2010; Shahbazpour et al., 2004; Smith et al., 1994) no han medido el gasto energético ni otras respuestas cardiorrespiratorias. Asimismo, dos de los estudios mencionados anteriormente no han controlado (Smith et al., 1994) o han controlado de manera inadecuada (Shahbazpour et al., 2004) la dieta de los participantes los días previos a la toma de muestra de sangre y, por lo tanto, sus resultados no pueden atribuirse con seguridad al efecto del ejercicio o a un posible cambio en el consumo dietario de los participantes.

Por tanto, el propósito del presente estudio ha sido analizar las respuestas del colesterol a una sesión de ejercicios de press de pierna con cargas altas, enfatizando la fase excéntrica del movimiento, lo cual ha mostrado reducir la concentración de TAG en ayunas a las 40 horas post ejercicio (Pafili et al., 2009). Dado que es probable que los efectos del ejercicio sobre el TC no se evidencien antes de las 24 horas posteriores al ejercicio (Durstine y Huskel, 1994; Nikolaidis et al., 2008; Paschalis et al., 2010), aquí se presenta información aún no publicada con respecto a los efectos del ejercicio con sobrecarga de alta intensidad, con énfasis en la fase excéntrica del movimiento, sobre el colesterol total y la concentración de la sub-fracción de colesterol hasta 48 horas posteriores al ejercicio. Otro propósito de este estudio ha sido cuantificar y presentar las respuestas cardiorrespiratorias a la serie de ejercicios.

METODOS

Participantes

Nueve voluntarios masculinos (edad: 27.2 ± 1.1 años, masa corporal: 76.2 ± 2.5 kg, altura: 1.79 ± 0.02 m) participaron de este estudio, que fue aprobado por el Comité de Ética Institucional. Los participantes dieron su consentimiento por escrito después de que se les informara sobre los procedimientos, los riesgos implicados y el derecho a finalizar su participación según su voluntad. Todos los procedimientos de este estudio se realizaron según la declaración de Helsinki de 1975, revisada en 1996. Los participantes no eran fumadores, no tenían antecedentes cardiovasculares conocidos, y no tomaban ninguna medicación ni suplemento nutricional de los que se conociera que afectan el metabolismo de los lípidos o los carbohidratos. Además, a los participantes se los seleccionaba sólo si no habían realizado un RE regular durante los últimos 12 meses. Ninguno de los participantes realizaba más de 2 $h \cdot semana^{-1}$ de actividad física recreativa (e.g. caminata, pedaleo, natación), según informaron en las entrevistas personales.

Diseño del Estudio

Cada individuo participó de dos condiciones separadas por al menos una semana en orden aleatorio. En la condición de control, los participantes consumieron una comida estandarizada a las 8:00 AM y siete horas después (15:00 AM) se obtuvo una muestra de sangre para determinar los valores iniciales del colesterol y la concentración de la sub-fracción de colesterol. Otro día, una semana más tarde, se llevó a cabo el protocolo de ejercicios con sobrecarga. El protocolo de ejercicios se cronometró para que finalizara a las 15:00 AM. Esto se hizo para poder obtener las muestras sanguíneas después de las 24 y 48 horas del ejercicio a la misma hora del día, como en la condición de control (15:00 AM), y después del consumo de la comida estandarizada a las 8:00 AM en ambos días después del ejercicio.

Protocolo de Ejercicios con Sobrecarga

A fin de evitar el acostumbramiento de los participantes al ejercicio excéntrico y la fatiga muscular consiguiente, i.e. la llamada "efecto de serie repetida" (Clarkson y Hubal, 2002), la carga correspondiente a 6 RM para cada individuo se calculó utilizando el área de sección cruzada del muslo libre de grasa (CSA). El día de la prueba de ejercicios con sobrecarga, se calculó el área de sección cruzada del muslo magro a partir de la circunferencia del muslo medio y el correspondiente grosor de pliegue cutáneo del muslo anterior utilizando una ecuación de regresión validada anteriormente y desarrollada por Housch et al. (1995):

CSA= (4.68 × circunferencia del muslo medio (cm) – (2.09 × pliegue cutáneo del muslo anterior (mm)) – 80.99

Luego, se calculó la carga individual de 6 RM a partir del CSA utilizando la ecuación de regresión para individuos no entrenados desarrollada por Dolezal et al. (2000):

Carga = 1.231 × CSA + 173.664

El peso de 6 RM estimado se utilizó para la primera serie y al participante se le indicó que realizara tantas repeticiones como le fuera posible. Si la cantidad de repeticiones era diferente a seis, entonces la carga para la serie siguiente se ajustaba según la ecuación proporcionada por Brzycki (1993):

$$1\ RM = \frac{Peso\ (kg)}{1.0278 - (0.0278 \times cantidad\ de\ repeticiones)}$$

Durante el ejercicio se controló que se enfatizara la fase excéntrica del movimiento.

El protocolo de ejercicios con sobrecarga estuvo precedido por una entrada en calor estandarizada (5 minutos de trote en una cinta ergométrica a 8 $km \cdot h^{-1}$ y 5 minutos de estiramientos). Los participantes realizaron ocho series de seis repeticiones de pressde pierna haciendo énfasis en la fase excéntrica, con una carga de 6 RM calculada a partir de su CSA en una máquina de pressde pierna inclinada a 45°. Para cada repetición, se les indicó que bajaran las pesas en 4 segundos y que realizaran un empuje fuerte al pasar del movimiento excéntrico al concéntrico. Esto se hizo para elevar al máximo la carga excéntrica. Se utilizó un metrónomo para asegurar que se cronometraran los 4 segundos. Se utilizó un descanso de tres minutos entre las series. Dos observadores aseguraron que las repeticiones requeridas se llevaran a cabo en todas las series mediante la asistencia durante la fase concéntrica, cuando el participante no pudiera levantar el peso. Las paradas mecánicas de la máquina se ajustaron para que el ángulo de la rodilla (entre el fémur y la tibia), al final del movimiento hacia abajo, fuera de 60°. Este protocolo de ejercicios ha sido utilizado previamente (Dolezal et al., 2000).

A lo largo del ejercicio y durante los 3 minutos de la recuperación, el aire espirado se analizó respiración por respiración utilizando la unidad metabólica portátil Cosmed K4b2 y los datos se promediaron cada 5 segundos a través del programa del espirómetro. El espirómetro se calibró antes de cada protocolo de ejercicios.

Mediciones Cardiorrespiratorias y Cálculo del Gasto Energético

Para el cálculo del gasto energético, se sumó la energía aeróbica más la anaeróbica, mientras que se ignoró la contribución de proteínas. La energía aeróbica se calculó utilizando un equivalente de 21.1 kJ por litro de oxígeno consumido durante el ejercicio y 19.6 kJ por litro de oxígeno consumido durante la recuperación, mientras que la energía anaeróbica se calculó convirtiendo el incremento en la concentración de lactato (desde el reposo hasta el valor pico) a los equivalentes del oxígeno, suponiendo que 1 $mmol \cdot L^{-1}$ de lactato equivale a 3 ml $O_2 \cdot kg^{-1}$ de masa corporal, entonces los valores del oxígeno se convirtieron a kilojulios como 21.1 kJ por litro de O_2 (Scott, 2006).

La frecuencia cardiaca se registró de manera continua utilizando un monitor de frecuencia cardiaca Polar S610i, y los datos registrados se analizaron con el programa Polar Precision Performance SW (Versión 4.00.024, Copyright Polar Electro Oy 2003, www.polar.fi).

Recolección y Análisis de las Muestras Sanguíneas

Antes del ejercicio se tomaron 20 µL de muestras de sangre capilar por duplicado, en medio del período de recuperación entre las series 4 y 5, inmediatamente después de la última serie y a los tres minutos de la recuperación. Las muestras se desproteinizaron en 0.3 M de ácido perclórico y se midió el lactato enzimáticamente en una fecha posterior (Sigma Diagnostics, St Louis, MO, EUA).

Las muestras de sangre post-absortivas (7 horas después de una comida estandarizada) se obtuvieron en la condición de control, como también después de las 24 y 48 horas posteriores al ejercicio. Las muestras (5 mL cada una) se tomaron de la vena antecubital y se colocaron en tubos no-heparinizados para coagularse en 1 hora. El suero se almacenó a -20 oC y luego se analizaron los triglicéridos, el colesterol total (TC), las lipoproteínas de alta densidad (HDL-C) y la creatina quinasa (CK) utilizando un analizador automatizado (ACE® Clinical Chemistry System, Alfa Wasserman, Inc, NJ, EUA).

Los parámetros bioquímicos se midieron por duplicado. Los coeficientes de variación intra-ensayo fueron los siguientes: lactato 3.1%, TAG, 1.9%; TC, 1.0%; HDL-C, 1.6% y CK, 2.0%. El LDL se calculó según la fórmula de Friedewald (Friedewald et al, 1972).

Control de la Dieta y el Ejercicio

A fin de evitar el efecto de la dieta y el ejercicio previos sobre los valores de los lípidos sanguíneos, se les pidió a los participantes que se abstuvieran de realizar cualquier tipo de ejercicio físico durante los 2 días previos a cada condición, y que registraran su dieta durante los 2 días previos a la primera muestra de sangre. Esta dieta se repitió durante los 2 días previos a la otra condición, 1 semana más tarde. En la condición de ejercicio, que requirió muestras de sangre durante 2 días consecutivos (24 y 48 horas después del ejercicio), el consumo de comida durante en reposo del primer día después del ejercicio se prescribió de manera individual, para que la energía diaria total y el consumo de macronutrientes para cada participante fuera el mismo que el día anterior. Al hacer esto, se estandarizaron el consumo de energía y la composición dietaria para el día anterior a cada toma de muestra de sangre. Además, la última comida antes de cada recopilación de datos se administró según la masa corporal 7 horas antes de la muestra de sangre. El contenido de colesterol de esa comida fue de 0.42 $mg \cdot kg^{-1}$ de masa corporal.

Análisis Estadísticos

Los datos se analizaron utilizando el análisis de varianza ANOVA de una vía y las diferencias entre las medias se clasificaron utilizando pruebas *post-hoc* de Tukey. Los datos se analizaron utilizando el software STATISTICA para Windows StatSoft, Inc. (Release 5.0, Tulsa, OK). La significancia se aceptó a un nivel de $p < 0.05$, y los datos se presentaron como medias ± EE, excepto que se estableciera de otro modo.

RESULTADOS

La duración total del ejercicio fue de 25.4 ± 0.2 minutos. El peso promedio levantado por contracción fue de 2.80 ± 0.21 $kg \cdot kg^{-1}$ de masa corporal, mientras que la velocidad angular promedio del movimiento de la articulación de la rodilla durante la fase excéntrica fue de $30° \cdot s^{-1}$ (según se calculó a partir del cambio total en el ángulo de la rodilla (de 180˚ a 60˚) en el período cronometrado de 4 segundos). El gasto energético total del ejercicio (desde el comienzo hasta el final del ejercicio) fue de 136.72 ± 7.11 Kcal (7.86 $Kcal \cdot min^{-1}$). En la Figura 1 se muestra el gasto energético promedio durante las 8 series de ejercicios, los posteriores ocho períodos de recuperación de 3 minutos y el ejercicio + la recuperación. La contribución promedio de lactato para el gasto energético durante el ejercicio fue de 13.63 ± 1.70 Kcal.

En la Figura 2 se muestra el consumo promedio de oxígeno y los equivalentes metabólicos energéticos promedio (METs) en reposo, durante las 8 series de ejercicio, durante los posteriores períodos de recuperación de 3 minutos y durante el ejercicio + la recuperación. Dado que la duración del ejercicio puro por serie sólo fue de alrededor de 30 segundos y el período de recuperación por serie fue de 3 minutos, las medias aritméticas del ejercicio puro + el consumo de oxígeno de la recuperación y los METs difieren de los valores del ejercicio + la recuperación. En la Figura 3 se muestra el transcurso temporal del consumo de oxígeno, la producción de CO_2 y el RER durante toda la sesión de ejercicio. En este momento debe advertirse que el protocolo del estudio requirió que los participantes realizaran tantas repeticiones como les fuera posible contra una carga calculada de 6 RM para la primera prueba de ejercicios. De hecho, la cantidad de repeticiones realizadas en la primera serie fue de 13.6 ± 2.8 y esto incrementó la duración de la primera serie a alrededor de 59.5 segundos. Luego, la carga para las series siguientes se reajustó a la verdadera 6 RM individual. La cantidad incrementada de repeticiones realizadas en la primera serie dio como resultado un consumo de oxígeno y una producción de CO_2 significativamente mayor durante esa serie (Figura 3). Por lo tanto, el consumo de oxígeno permaneció sin cambios a lo largo del protocolo de prueba (Figura 3). No obstante, los valores de RER disminuyeron con la progresión del ejercicio y fueron significativamente más bajos durante las últimas cuatro series, en comparación con las cuatro primeras series de la sesión de ejercicios, tanto durante el ejercicio (1.12 ± 0.06 vs. 1.00 ± 0.05 para las primeras y últimas cuatro series, respectivamente, $p < 0.01$), como en la recuperación (1.48 ± 0.07 vs. 1.15 ± 0.05 para las primeras y últimas cuatro series, respectivamente, $p < 0.01$).

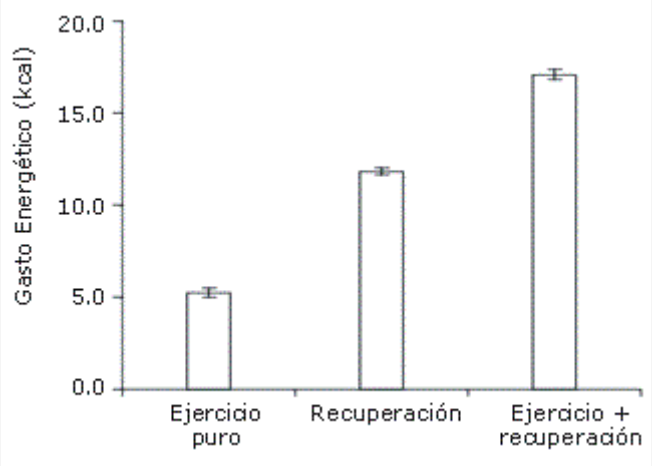

Figura 1. *Gasto de energía promedio durante las ocho series de ejercicios (ejercicio puro), los posteriores ocho períodos de recuperación de 3 minutos y el ejercicio + la recuperación. Los valores son medias (± EE). (n = 9).*

En la Figura 4 se muestra la frecuencia cardiaca promedio durante la sesión de ejercicios. La HR promedio durante el descanso fue de 67 ± 2 latidos·min^{-1}. La frecuencia cardiaca máxima durante el ejercicio fue de 168 ± 1 latidos·min^{-1}. Durante los períodos de ejercicios la HR promedio fue de 152 ± 2 latidos·min^{-1}, mientras que durante los períodos de recuperación la HR promedio fue de 133 ± 1 latidos·min^{-1}. La intensidad del ejercicio determinada por medio del % de la HRmáx extimada (calculada a partir de la fórmula: HRmáx = 220- edad (años)), fue del 78.2 ± 2.1% de la HRmáx.

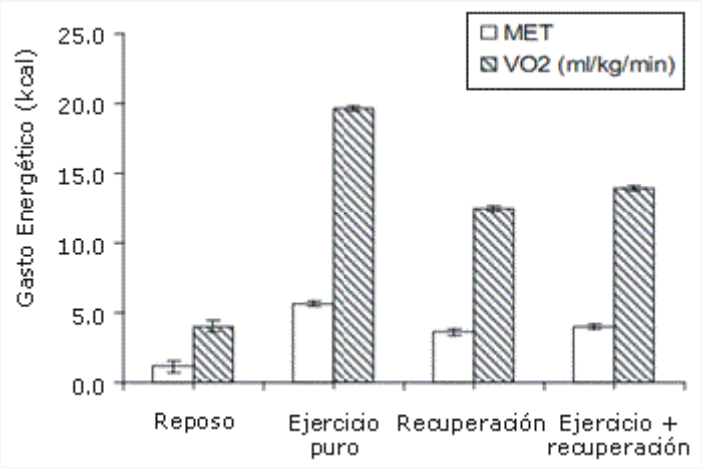

Figura 2.*Consumo de oxígeno promedio y equivalentes metabólicos (MET) en reposo y durante las 8 series de ejercicio (ejercicio puro), los posteriores períodos de recuperación de 3 minutos y durante el ejercicio + la recuperación. Los valores son medias (± EE). (n = 9)*

La concentración de CK fue significativamente más elevada en ambos días después del ejercicio, en comparación con el valor de control (197 ± 57 vs. 1090 ± 272, $p < 0.03$ y 1230 ± 440 U-L^{-1} $p < 0.01$, para el control, 24hs y 48hs después del ejercicio, respectivamente).

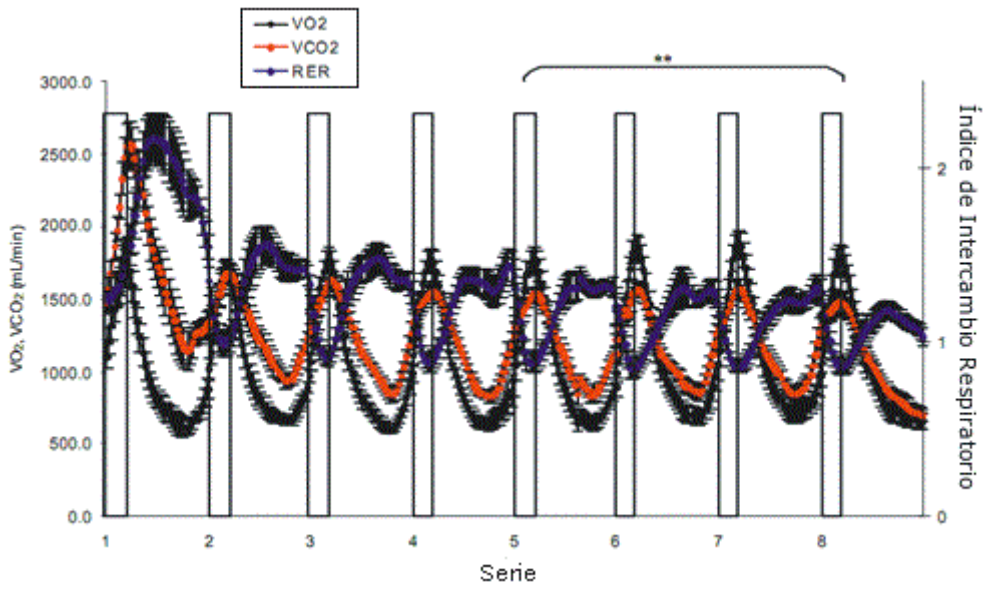

Figura 3. *VO_2, VCO_2 y RER promedio durante la sesión de ejercicios. Las barras verticales muestran los períodos de ejercicios. Los valores son medias ± EE. (N=9), **P < 0.01 de las primeras cuatro series (RER).*

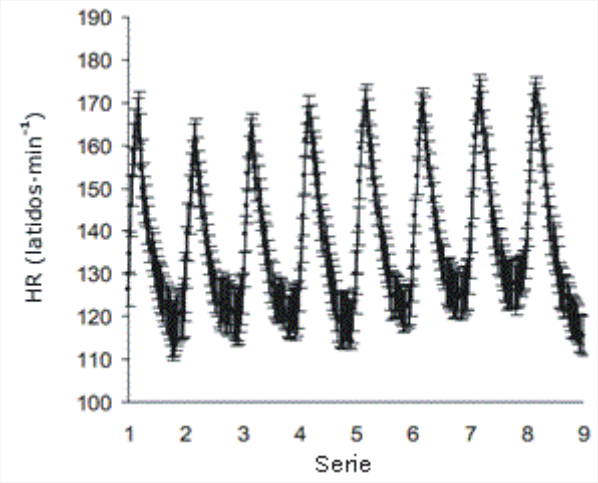

Figura 4. *Frecuencia cardiaca promedio (latidos por minuto) durante la sesión de ejercicios. Los valores son medias (± EE). (n = 9).*

El TC, el colesterol HDL y la concentración de colesterol LDL calculada no cambió de manera significativa en las 48 horas posteriores al ejercicio (Figura 5).

DISCUSION

Los principales hallazgos de este estudio fueron que este tipo de ejercicio de sobrecarga de alta intensidad aumentó el gasto energético de fuentes aeróbicas a niveles relativamente elevados, teniendo en cuenta el verdadero trabajo realizado. Además, el colesterol total y sus sub-fracciones, HDL-C y LDL-C, no se vieron afectados por este protocolo de ejercicios que causó un considerable daño muscular.

Las características de este programa de ejercicios fueron típicas de una sesión de entrenamiento de

fuerza máxima con altas cargas (6 RM) y períodos de recuperación prolongados (3 min) (Kraemer y Ratamess, 2004; Kraemer et al., 1987). Los METs gastados durante el ejercicio fueron equivalentes a un ejercicio de ciclismo a < 10 mph (Ainsworth et al., 2000), y según el consumo de oxígeno, el ejercicio puede considerarse como de "intensidad moderada", según las directrices de la ACSM para el ejercicio aeróbico (Haskell et al., 2007).

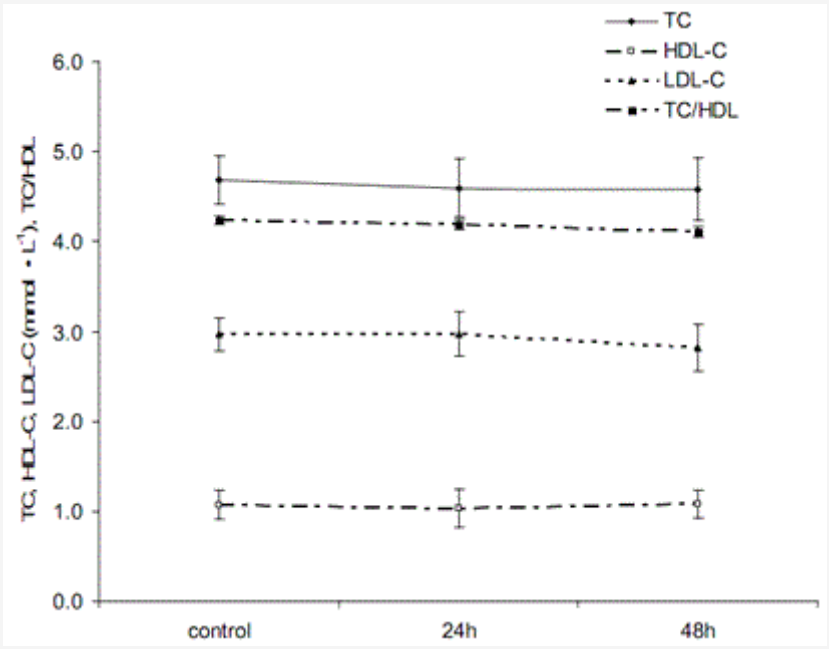

Figura 5. *Concentraciones de TC, HDL-C y LDL-C calculada en la condición de control y en las 24 y 48 horas posteriores al ejercicio. Los valores son medias (± SE). (n = 9).*

Sin embargo, debido a la naturaleza del ejercicio con sobrecarga, las respuestas de HR fueron significativamente más elevadas que las del ejercicio aeróbico de similar consumo de oxígeno (Braun et al., 2005). Según los cálculos de la energía a partir del VO_2 y el lactato sanguíneo, esta sesión de RE de alta intensidad incrementó el gasto energético a niveles relativamente elevados, teniendo en cuenta que sólo se realizaron 50 repeticiones durante las 8 series de ejercicio. Cabe destacar que la mayor parte del gasto de energía aeróbica se realizó durante los períodos de recuperación, donde el consumo de oxígeno permaneció elevado.

Aunque un reporte previo de este laboratorio mostró una disminución en la lipemia postprandial 16 horas después de este protocolo de ejercicios (Pafili et al., 2009), la concentración de TC permaneció sin cambios tanto a las 24 como a las 48 horas posteriores al ejercicio, en comparación con el descanso. Estos resultados concuerdan con los resultados de estudios previos de ejercicios con sobrecarga (Hill et al., 2005; Jurimae et al., 1990; Magkos et al., 2008; Wallace et al., 1991), y con resultados de estudios de ejercicios con sobrecarga excéntrica (Nikolaidis et al., 2008; Paschalis et al., 2010) en cuanto a lo que respecta a los valores de las 24 horas posteriores al ejercicio. Sin embargo, en el estudio de Nikolaidis et al. (2008) la concentración de TC disminuyó significativamente 48 horas después del ejercicio tras la primera serie de ejercicios. Esto se atribuyó a un posible uso del colesterol sanguíneo para reparar el daño de las membranas musculares, y este argumento se reforzó mediante el hecho de que cuando se volvió a realizar el mismo ejercicio después de 24-30 días no hubo cambios en el TC, y esto estuvo acompañado con mucho menos daño muscular, i.e. "efecto de serie repetida" (Nikolaidis et al., 2008). En el otro estudio realizado por el mismo grupo de investigación, el efecto más pronunciado del ejercicio sobre la concentración de TC en los participantes con sobrepeso también fue atribuido a un mayor daño muscular (Paschalis et al., 2010).

La hipótesis de que la membrana muscular se repara utilizando colesterol sanguíneo está respaldada por estudios recientes que analizan el perfil de expresión del gen en el músculo esquelético humano durante la recuperación a partir del ejercicio excéntrico. Estos estudios muestran que tras el ejercicio excéntrico se activan una cantidad de genes involucrados en el metabolismo lipídico, algunos de ellos promoviendo de manera potencial la síntesis de colesterol a fin de reparar las membranas alteradas (Mahoney et al., 2008). Sin embargo, el daño muscular en el presente estudio, como

también en otros estudios relevantes, se cuantificó con indicadores indirectos, y por lo tanto, es posible que los resultados no sean directamente comparables. El indicador indirecto de la concentración plasmática de CK fue más bajo en el presente estudio que en el estudio de Paschalis et al. (2010), pero mayor que en el estudio de Nikolaidis et al. (2007). Por lo tanto, no se puede llegar a una conclusión firme con respecto al posible efecto del grado de daño muscular sobre la concentración sérica de TC y sus sub-fracciones. Además, los posibles efectos del gasto energético sobre la concentración de TC no pueden compararse con estudios previos, pues ninguno midió el gasto energético.

Otro factor que puede haber afectado las respuestas de los participantes del presente estudio es el intervalo de descanso más prolongado que se utilizó (3 minutos), en comparación con los otros estudios que han utilizado intervalos de descanso más breves: 2 minutos, Smith et al. (1994); 1 minuto, Shahbazpour et al. (2004); 2 minutos Nikolaidis et al. (2008) y Paschalis et al. (2010). La duración del período de descanso podría afectar la respuesta de lipoproteínas al ejercicio, pues se ha demostrado que la RE con intervalos de descanso más breves afecta más los niveles de leucocitos post-ejercicio (Mayhew et al., 2005) y las respuestas hormonales al ejercicio (Bottaro et al., 2009; Buresh et al., 2009), en comparación con el mismo ejercicio con intervalos de descanso más prolongados. Al incremento en los niveles de leucocitos después del ejercicio se lo considera una parte de la respuesta inflamatoria de las células musculares dañadas (Nieman, 1997), y existe evidencia para sugerir que se ve mediada por la secreción de hormonas de estrés dependientes del ejercicio (Suzuki et al., 1999). Se ha demostrado que tanto la inflamación como la secreción incrementada de hormonas después del ejercicio afectan los niveles de lipoproteínas (Frey et al, 1983; Khovidhunkit et al., 2004), por lo que un incremento mayor en estos dos parámetros también podría significar un mayor efecto sobre las lipoproteínas sanguíneas.

Asimismo, debe advertirse que la resistencia a la insulina observada después del ejercicio excéntrico (Asp et al., 1996; Kirwan et al., 1992; Pafili et al., 2009) podría incrementar el colesterol en sangre, pues se ha asociado con un incremento en la síntesis de colesterol y una disminución en la absorción del colesterol en los hombres (Pihlajamäki et al., 2004). Esto podría compensar la posible reducción de TC debido a la reparación de las membranas musculares dañadas.

Otra posible explicación interesante para las diferencias entre el presente estudio y los estudios de Nikolaidis et al. (2008) y Paschalis et al. (2010) es la interacción entre el ejercicio con sobrecarga y el género de los participantes. Ambos estudios utilizaron participantes femeninas, mientras que en el presente estudio los participantes fueron hombres. Revisiones recientes (Tambalis et al., 2009) y meta-análisis de estudios previos (Kelley y Kelley, 2009) sugieren que los únicos estudios que han mostrado un efecto del entrenamiento de RE sobre la concentración de TC sanguíneo tuvieron participantes femeninas y de la tercera edad. Dado que existen estudios que han demostrado diferentes respuestas entre los hombres y las mujeres en lo que respecta a los efectos agudos del RE excéntrico (Rinard et al., 2000; Sewright et al., 2008), y aunque no se han medido las respuestas hormonales en respuesta al ejercicio excéntrico con sobrecarga en las mujeres, la evidencia de los estudios del ejercicio aeróbico sugieren que los hombres y las mujeres tienen diferentes respuestas hormonales al ejercicio (Davis et al., 2000), por lo que el género puede ser un factor importante para los cambios en el TC en sangre con el RE de alta intensidad.

Estudios previos han demostrado un incremento de la concentración de HDL 24 horas después del RE sólo cuando el ejercicio fue de volumen elevado y de duración más prolongada que el presente estudio (e.g., 90 minutos, Wallace et al., 1991). Este hecho, combinado con la evidencia de los estudios aeróbicos, que muestran que el gasto de energía en el ejercicio debe ser al menos de 350 Kcal para tener un efecto sobre la concentración de HDL (Thompson et al., 2001), sugiere que el gasto de energía del presente protocolo no fue suficiente para afectar la concentración de HDL.

CONCLUSION

En conclusión, un pequeño volumen de ejercicio con sobrecarga de alta intensidad, que provocó daño muscular, no tuvo efectos sobre el TC ni la concentración de la sub-fracción de colesterol 24 y 48 horas después del ejercicio, aunque con anterioridad se ha demostrado que reduce la concentración postprandial de triacilglicéridos 16 horas después del ejercicio. Esto contrasta con los pocos estudios que reportaron una disminución en el TC de dos a cinco días después del ejercicio que daña el músculo. La falta de un efecto del ejercicio sobre el TC y el HDL-C en el presente estudio puede deberse a un menor grado de daño muscular, un gasto de energía menor o a un posible efecto del género sobre las respuestas del TC. Los resultados señalan la necesidad de realizar estudios futuros para controlar las características del ejercicio y tener en cuenta factores como el género de los participantes, la dieta y las respuestas hormonales que podrían afectar el ejercicio con sobrecarga sobre los lípidos sanguíneos.

Puntos Clave

- Las series repetidas de ejercicio con sobrecarga de alta intensidad incrementaron de manera significativa el

consumo de oxígeno durante el ejercicio y el posterior período de recuperación.

- Aunque el ejercicio fue de un volumen bajo (8 series × 6 repeticiones), el consumo elevado de oxígeno durante los intervalos de recuperación en combinación con la duración total de la sesión de ejercicios (26 minutos) dio como resultado un gasto de energía aeróbica es equivalente a un ejercicio de ciclismo de intensidad baja a moderada.
- El ejercicio de press de pierna con sobrecarga que enfatiza el movimiento excéntrico y que provocó el daño muscular no tuvo ningún efecto sobre el colesterol total, el HDL-C ni el LDL-C durante los dos días posteriores al ejercicio en hombres jóvenes en buen estado de salud.

REFERENCIAS

1. Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whitt, M.C., Irwin, M.L., Swartz, A.M., Strath, S.J., O'Brien, W.L., Bassett, D.R. Jr, Schmitz, K.H., Emplaincourt, P.O., Jacobs, D.R. Jr and Leon, A.S (2000). Compendium of Physical Activities, an update of activ-ity codes and MET intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise 32, S498□S516*
2. Asp, S., Daugaard, J.R, Kristiansen, S., Kiens B. and Richter, E.A (1996). Eccentric exercise decreases maximal insulin action in humans, muscle and systemic effects. *Journal of Physiology 494(3), 891-898*
3. Bottaro, M., Martins, B., Gentil, P. and Wagner, D (2009). Effects of rest duration between sets of resistance training on acute hormonal responses in trained women. *Journal of Science and Medicine in Sport 12(1), 73-78*
4. Braun, W.A., Hawthorne, W.E. and Markofski, M.M (2005). Acute EPOC response in women to circuit training and treadmill exercise of matched oxygen consumption. *European Journal of Ap-plied Physiology 94, 500-504*
5. Brzycki, M (1993). Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education Recreation and Dance 68, 88-90*
6. Buresh, R., Berg, K. and French, J.J (2009). The effect of resistive exercise rest interval on hormonal response, strength, and hypertrophy with training. *Journal of Strength and Conditioning Research 23(1), 62-71*
7. Centers for Disease Control and Prevention (2006). Trends in strength training□United States, 1998□2004. *Morbidity and Mortality Weekly Report 55(28), 769-72*
8. Clarkson, P.M. and Hubal, M.J (2002). Exercise-induced muscle dam-age in humans. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation 81, S52-S69*
9. Davis, S.N., Galassetti, P., Wasserman, D.H. and Tate, D (2000). Effects of gender on neuroendocrine and metabolic counterregulatory responses to exercise in normal man. *Journal of Clinical Endo-crinology and Metabolism 85(1), 224-230*
10. Dolezal, B.A., Potteiger, J.A., Jacobsen, D.J. and Benedict, S.H (2000). Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine and Science in Sports and Exercise 32(7), 1202-1207*
11. Durstine, J.L., Grandjean, P.W., Davis, P.G., Ferguson, M.A., Alderson, N.L. and DuBose, K.D (2001). Blood lipid and lipoprotein ad-aptations to exercise, a quantitative analysis. *Sports Medicine 31(15), 1033□1062*
12. Durstine, L.J. and Haskell, W.L (1994). Effects of exercise training on plasma lipids and lipoproteins. *Exercise and Sports Science Review 22, 477-521*
13. Frey, M.A., Doerr, B.M., Srivastava, L.S. and Glueck, C.J (1983). Exercise training, sex hormones, and lipoprotein relationships in men. *Journal of Applied Physiology 54(3), 757-762*
14. Friedewald, W.T., Levy, R.I. and Fredrickson, D.S (1972). Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge. *Clinical Chemistry 18(6), 499-502*
15. Haskell, W.L., Lee, I.M, Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D. and Bauman, A (2007). Physical activity and public health, updated rec-ommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and Science in Sports and Exercise 39(8), 1423-1434*
16. Hill, S., Bermingham, M.A. and Knight, P.K (2005). Lipid metabolism in young men after acute resistance exercise at two different in-tensities. *Journal of Science and Medicine in Sport 8(4), 441-445*
17. Housch, D.J., Housch, T.J., Weir, J.P., Weir, L.L., Johnson, G.O. and Stout, J. R (1995). Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. *Medicine and Science in Sports and Exer-cise 27(5), 784□791*
18. Jurimae, T., Karelson, K., Smirnova, T. and Viru, A (1990). The effect of a single-circuit weight-training session on the blood biochemistry of untrained university students. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology 61(5-6), 344-348*
19. Kelley, G.A. and Kelley, K.S (2009). Impact of progressive resistance training on lipids and lipoproteins in adults, a meta-analysis of randomized controlled trials. *Preventive Medicine 48(1), 9-19*
20. Kirwan, J.P., Hickner, R.C., Yarasheski, K.E., Kohrt, W.M., Wiethop, B.V. and Holloszy, J.O (1992). Eccentric exercise induces transient insulin resistance in healthy individuals. *Journal of Ap-plied Physiology 72(6), 2197-2202*
21. Khovidhunkit, W., Kim, M.S., Memon, R.A., Shigenaga, J.K., Moser, A.H., Feingold, K.R., and Grunfeld, C (2004). Effects of infection and inflammation on lipid and lipoprotein metabolism: me-chanisms and consequences to the host. *Journal of Lipid Re-search 45, 1169-1196*
22. Kraemer, W.J. and Ratamess, N.A (2004). Fundamentals of resistance training, progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise 36(4), 674-688*
23. Kraemer, W.J., Noble, B.J., Clark, M.J. and. Culver, B.W (1987). Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *International Journal of Sports Medicine 8(4), 247-252*
24. Lira, F.S., Zanchi, N.E., Lima-Silva, A.E., Pires, F.O., Bertuzzi, R.C., Santos, R.V., Caperuto, E.C., Kiss, M.A. and Seelaender M

(2009). Acute high-intensity exercise with low energy expendi-ture reduced LDL-c and total cholesterol in men. *European Journal of Applied Physiology 107(2), 203-210*
25. Magkos, F., Tsekouras, Y.E., Prentzas, K.I., Basioukas, K.N., Matsama, S.G., Yanni, A.E., Kavouras, S.A. and Sidossis, L.S (2008). Acute exercise-induced changes in basal VLDL-triglyceride ki-netics leading to hypotriglyceridemia manifest more readily af-ter resistance than after endurance exercise. *Journal of Applied Physiology 105, 1228-1236*
26. Mahoney, D.J., Safdar, A., Parise, G., Melov, S., Fu, M., MacNeil, L., Kaczor, J., Payne, E.T. and Tarnopolsky, M.A (2008). Gene ex-pression profiling in human skeletal muscle during recovery from eccentric exercise. *American Journal of Physiology, Regu-latory and Integrative and Comparative Physiology 294, 1901-1910*
27. Mayhew, D.L., Thyfault, J.P. and Koch, A.J (2005). Restinterval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research 19(1), 16-22*
28. Nieman, D.C (1997). Immune response to heavy exertion. *Journal of Applied Physiology 82(5), 1385-1394*
29. Nikolaidis, M.G., Paschalis, V., Giakas, G., Fatouros, I.G., Koutedakis, Y., Kouretas, D. and Jamurtas, A.Z (2007). Decreased blood oxidative stress after repeated muscle-damaging exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 39(7), 1080-1089*
30. Nikolaidis, M.G., Paschalis, V., Giakas, G., Fatouros, I.G., Sakellariou, G., Theodorou, A.A., Koutedakis, Y. and Jamurtas, A (2008). Favorable and prolonged changes in blood lipid profile after muscle-damaging exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 40(8), 1483-1489*
31. Pafili, Z.K., Bogdanis, G.C., Tsetsonis, N.V., and Maridaki, M (2009). Postprandial lipemia 16 and 40 hours after low-volume eccen-tric resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Ex-ercise 41(2), 375-382*
32. Pafili, Z.K., Bogdanis, G.C., Tsetsonis, N.V., and Maridaki, M (2009). Postprandial lipemia 16 and 40 hours after lowvolume eccentric resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 41(2), 375-382*
33. Petitt, D.D., Sigurborn, A., Arngrimsson, A. and Cureton, K.J (2003). Effect of resistance exercise on postprandial lipemia. *Journal of Applied Physiology 94(2), 694-700*
34. Paschalis, V., Nikolaidis, M.G., Giakas, G., Theodorou, A.A., Sakel-lariou, G.K., Fatouros, I.G., Koutedakis, Y. and Jamurtas, A.Z (2010). Beneficial changes in energy expenditure and lipid pro-file after eccentric exercise in overweight and lean women. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports 20(1), 103-111*
35. Pollock, M.L., Gaesser, G.A., Butcher, J.D., et al (1998). American College of Sports Medicine position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise 30(6), 975-991*
36. Rinard, J., Clarkson, P.M., Smith, L.L. and Grossman, M (2000). Response of males and females to high-force eccentric exercise. *Journal of Sports Sciences 18(4), 229-236*
37. Scott, C.B (2006). Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research 20(2), 404-411*
38. Sewright, K.A., Hubal, M.J., Kearns, A., Holbrook, M.T. and Clarkson, P.M (2008). Sex differences in response to maximal eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 40(2), 242-251*
39. Shahbazpour, N., Carroll, T.J., Riek, S. and Carson, R.G (2004). Early alterations in serum creatine kinase and total cholesterol follow-ing high intensity eccentric muscle actions. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 44(2), 193-199*
40. Smith, L.L., Fulmer, M.G., Holbert, D., McCammon, M.R., Houmard, J.A., Frazer, D.D., Nsien, E. and Israel, R.G (1994). The impact of a repeated bout of eccentric exercise on muscular strength, muscle soreness and creatine kinase. *British Journal of Sports Medicine 28(4), 267-271*
41. Suzuki, K., Totsuka, M., Nakaji, S., Yamada, M., Kudoh, S., Liu, Q., Sugawara, K., Yamaya, K. and Sato, K (1999). Endurance exer-cise causes interaction among stress hormones, cytokines, neu-trophil dynamics, and muscle damage. *Journal of Applied Physiology 87(4), 1360-1367*
42. Tambalis, K., Panagiotakos, D.B., Kavouras, S.A., Sidossis, L.S (2009). Responses of blood lipids to aerobic, resistance, and combined aerobic with resistance exercise training: a systematic review of current evidence. *Angiology 60(5), 614-632.*
43. Thompson, P.D., Crouse, S.F., Goodpaster, B., Kelley, D., Moyna, N. and Pescatello, L (2001). The acute versus the chronic response to exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise 33(6), S438-S445*
44. Tucker, L.A. and Silvester, L.J (1996). Strength training and hypercho-lesterolemia: an epidemiologic study of 8499 employed men. *American Journal of Health Promotion 11(1), 35-41*
45. Zafeiridis, A., Goloi, E., Petridou, A., Dipla, K., Mougios, V. and Kellis, S (2007). Effects of low- and high-volume resistance exercise on postprandial lipaemia. *British Journal of Nutrition 97(3), 471-477*
46. Wallace, M.B., Moffatt, R.J., Haymes, E.M. and Green, N. R (1991). Acute effects of resistance exercise on parameters of lipoprotein metabolism. *Medicine and Science in Sports and Exercise 23(2), 199-204*
47. Williams, M.A., Haskell, W.L., Ades, P.A., Amsterdam, E.A., Bittner, V., Franklin, B.A., Gulanick, M., Laing, S.T. and Stewart, K.J (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease, 2007 update, a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation 16(5), 572-584*

Cita Original

Zoe K. Pafili, Gregory C. Bogdanis and Maria Maridaki. Cardiorespiratory Characteristics and Cholesterol Responses to a Single Session of Heavy Leg Press Exercise. Journal of Sports Science and Medicine (2010) 9, 580 - 586