PubliCE, (PubliCE) 2004

Monograph

# Adaptaciones Musculoesqueléticas a un Programa de Entrenamiento de la Fuerza Progresivo Excéntrico de 16 Semanas en Mujeres Jóvenes

Todd Schroeder[1] y Victoria Jaque[2]

[1]*Department of Biokinesiology and Physical Therapy, University of Southern California, Los Angeles, California 90089 Steven A. Hawkins.*
[2]*Department of Kinesiology and Nutritional Science, California State University, Los Angeles, California 90032.*

## RESUMEN

Nosotros investigamos las adaptaciones musculoesqueléticas y la eficacia de un protocolo de entrenamiento de fuerza progresivo (PRT) excéntrico para todo el cuerpo en mujeres jóvenes. Los sujetos (n=37; edad media, 24.3) fueron asignados aleatoriamente a uno de 3 grupos: PRT excéntrico de alta intensidad (HRT), PRT excéntrico de baja intensidad (LRT), o control. Los sujetos realizaron 3 series de 6 repeticiones con el 125% de la intensidad o 3 series de 10 repeticiones con el 75% de la intensidad en los grupos HRT y LRT, respectivamente, 2 veces por semana durante 16 semanas. La fuerza fue determinada mediante el test estándar de una repetición máxima concéntrica (1RM). La masa ósea y la composición corporal fueron medidas mediante absorciometría dual por energía de rayos X (DXA). Las muestras de sangre y orina fueron obtenidas para realizar determinaciones de deoxipiridolina, osteocalcina, creatinquinasa, y creatinina. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza de mediciones repetidas con comparaciones post hoc. La fuerza se incrementó un 20-40% en ambos grupos de entrenamiento. La masa corporal magra se incrementó en el grupo LRT (0.7±0.6kg) y en el grupo HRT (0.9±0.9kg). El contenido mineral óseo se incrementó (0.855±0.958g) solo en el grupo LRT. La Deoxipiridinolina disminuyó y la osteocalcina se incrementó en los grupos HRT y LRT, respectivamente. Estos hallazgos sugieren que el entrenamiento excéntrico submáximo es óptimo para lograr adaptaciones musculoesqueléticas y que la intensidad del entrenamiento excéntrico influencia los patrones iniciales de la adaptación ósea.

**Palabras Clave:** masa ósea, marcadores óseos, daño muscular, entrenamiento de la fuerza

## INTRODUCCION

Incrementar el crecimiento del pico de masa ósea en mujeres jóvenes constituye un paso importante en la prevención de la osteoporosis, ya que la maximización de la masa ósea en la adultez temprana puede reducir el riesgo de fractura osteporótica en la vejez. Los protocolos de entrenamiento de la fuerza estándar producen adaptaciones en los músculos (15) y huesos (5, 20) de mujeres jóvenes. Estas técnicas convencionales de entrenamiento de la fuerza implican un componente concéntrico y excéntrico. Sin embargo, las contracciones excéntricas máximas de los músculos esqueléticos desarrollan una mayor tensión que las contracciones isométricas o concéntricas (18). Consecuentemente, las mayores

cargas asociadas con la contracción excéntrica pueden ser necesarias para maximizar las adaptaciones musculoesqueléticas si, en realidad, el estímulo de sobrecarga es requerido para las ganancias compensatorias. En efecto, los estudios han demostrado que la contracción muscular excéntrica resulta en una mayor fuerza e hipertrofia muscular (9-11) y masa ósea (8) que las contracciones musculares concéntricas. De este modo, las técnicas de entrenamiento estándar, que no hacen énfasis en las contracciones excéntricas, pueden no optimizar las adaptaciones musculares y óseas.

La intensidad de un protocolo excéntrico pude tener importantes influencias osteogénicas. Aunque nosotros reportamos previamente que la magnitud de la carga asociada con las contracciones excéntricas máximas es responsable de los incrementos significativos en la masa ósea de mujeres jóvenes (8), el (los) mecanismo (s) por el cual las contracciones excéntricas pueden contribuir a la adaptación ósea es desconocido. Los efectos del entrenamiento de fuerza estándar sobre la masa ósea son comúnmente atribuidos al incremento de la tasas de formación de hueso (2, 6, 13, 16) y quizás supresión transitoria de la tasa de resorción del hueso (6). No está claro si un período de tiempo corto de entrenamiento excéntrico afecta de forma diferente la formación y resorción de hueso.

Está bien establecido que las contracciones excéntricas resultan en dureza muscular, pérdida prolongada de la fuerza, elevación de las proteínas musculares circulantes, y cambios morfológicos en la arquitectura muscular (3). Sin embargo, la contribución relativa del daño muscular inducido por contracciones excéntricas y los factores asociados (e.g., citoquinas, y enzimas elevadas) como un estímulo para las adaptaciones musculoesqueléticas permanecen por ser dilucidados. A pesar de todo, las contracciones musculares excéntricas parecen ser un componente importante en el mantenimiento y mejora del sistema musculoesquelético.

Investigaciones previas que usaron modelos de entrenamiento excéntrico han tenido aplicabilidad limitada, ya que la mayoría de estos estudios entrenaron a los participantes usando solo un grupo muscular en dinamómetros isocinéticos. Aunque sus hallazgos proporcionaron valiosos conocimientos que contribuyeron al entendimiento de las adaptaciones al entrenamiento excéntrico, ellos no pudieron describir la utilidad del entrenamiento de fuerza excéntrico como se aplica para el uso de equipamiento de gimnasio estándar. Muchos atletas y sujetos que entrenan la fuerza recreacionalmente no tienen acceso a equipamiento adecuado que les permita entrenar usando dinamómetros isocinéticos; sin embargo, ellos entrenan rutinariamente con pesos libres y máquinas para el entrenamiento de la fuerza. De este modo, el propósito de este estudio fue determinar las adaptaciones musculoesqueléticas y la eficacia de un protocolo de entrenamiento de la fuerza progresivo (PRT) excéntrico para todo el cuerpo y para grupos musculares múltiples usando pesos libres y máquinas para entrenamiento de la fuerza estándar en mujeres jóvenes. Nosotros hipotetizamos que las mujeres que participan en entrenamiento de la fuerza excéntrico de alta intensidad tendrían incrementos significativamente mayores en la masa corporal magra y en la fuerza muscular y mayores adaptaciones óseas en comparación con un entrenamiento de la fuerza excéntrico de baja intensidad.

## METODOS

### Enfoque Experimental del Problema

Ya que la mejora de la fuerza del sistema musculoesquelético en mujeres jóvenes puede ayudar a prevenir o retardar el riesgo de fractura osteporótica en la vejez, nosotros diseñamos una intervención de entrenamiento de la fuerza para evaluar la hipótesis acerca de que el entrenamiento solo excéntrico de alta intensidad en comparación con un entrenamiento solo excéntrico de baja intensidad maximizaría las adaptaciones musculoesqueléticas. De este modo, fueron evaluados los cambios en la masa corporal magra, fuerza muscular, masa ósea, y marcadores bioquímicos de metabolismo óseo para comparar los dos grupos de tratamiento que utilizaron muy diferentes intensidades de entrenamiento de la fuerza excéntrico.

### Sujetos

Los sujetos voluntarios fueron mujeres de entre 18-28 años de edad. Los sujetos fueron reclutados a partir del University of Southern California (USC) Health Sciences Campus. Ellos completaron un breve cuestionario de información, y si cumplían con los criterios de inclusión, eran contactados por el staff del estudio. Todos los sujetos estaban libres de condiciones que limitarían su participación en entrenamiento de la fuerza de alta intensidad, como lesiones musculoesqueléticas, hipertensión, enfermedad coronaria del corazón, enfermedad pulmonar crónica, osteoporosis, osteoartritis. Adicionalmente, todos los sujetos estaban libres de condiciones conocidas que influenciaran el crecimiento y mantenimiento del hueso, incluyendo diabetes, desordenes alimentarios, embarazo, enfermedad policística del ovario, hiper- e hipotiroidismo, hipercortisolismo, amenorrea, y cualquier otro desorden hormonal o metabólico. Los ciclos menstruales debían ser regulares (eumenorreícas) y debían tener una duración de entre 26 y 31 días. Los sujetos fueron

aceptados sin tener en cuenta si utilizaban de anticonceptivos orales (OC). Los sujetos debían ser nulíparos, y aquellos que habían tenido una serie de radiografías (como terapia por radiación) fueron excluidos. Los sujetos debían no haber participado en entrenamiento de fuerza los 6 meses anteriores al inicio del estudio. Los sujetos proporcionaron un informe de consentimiento escrito antes del estudio, el cual fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional del Centro Médico USC de Los Angeles.

Treinta y siete de los 41 sujetos que firmaron el informe de consentimiento completaron el estudio. Todos los sujetos en el grupo de ejercicio y 9 de los 14 sujetos en el grupo control completaron las pre- y postsmediciones. Las razones para el abandono de los sujetos incluyeron compromisos de tiempo (n=1), fobia a la extracción de sangre o a las agujas (n=3), y enfermedades no relacionadas (n=1). Los 28 sujetos que participaron en el entrenamiento excéntrico completaron 32 sesiones de trabajo. Además, ningún sujeto experimentó ninguna lesión relacionada al entrenamiento, excepto 1 sujeto en el grupo que realizaba el PRT excéntrico de alta intensidad (HRT), quien reportó una dureza inusual y dolor en el tendón del bíceps, lo cual se resolvió con 3 días de descanso. Las muestras séricas y de orina fueron obtenidas en las semanas 4, 8 y 12 del estudio en el grupo que realizaba el PRT excéntrico de baja intensidad (LRT) en 11, 13 y 12 sujetos, respectivamente. En las semanas 4, 8, y 12 del estudio en el grupo HRT, 13, 13, y 11 sujetos, cumplieron sus compromisos de calendario para proporcionar muestras de sangre y orina. Además, 10 sujetos en el grupo LRT, 11 sujetos en el grupo HRT, y 4 sujetos en el grupo control estaban tomando OCs. Los restantes sujetos no estaban tomando OCs antes o durante la intervención del estudio. Los grupos del estudio fueron generalmente comparables en sus características de la condición inicial (Tabla 1).

**Diseño del Estudio**

Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de 3 grupos: HRT (n=14), LRT (n=14) o control (n=9). A todos los sujetos se les pidió visitar el laboratorio en 3 ocasiones. La visita al laboratorio antes del inicio del estudio incluyó densitometría, test de fuerza, y muestras sanguíneas y de orina. Esta visita fue programada durante los primeros 10 días del ciclo menstrual de los sujetos. La segunda visita constituyó la visita en la condición inicial para realizar un test de fuerza adicional por lo menos 5 días después del test de fuerza inicial. Finalmente, a todos los sujetos se les pidió visitar el laboratorio para los post-tests después de la semana 16 del estudio. Las post-tests incluyeron densitometría, test de fuerza, y muestras sanguíneas y de orina. Los sujetos que habían quedado aleatoriamente asignados al grupo entrenamiento de la fuerza se les pidió que visitaran el laboratorio dos veces por semana en días no consecutivos para participar en un PRT excéntrico durante 16 semanas (32 días de entrenamiento).

**Evaluación de la Fuerza**

La evaluación de la fuerza fue realizada antes del inicio del estudio, en la condición inicial, y en la semana 16 en todos los grupos y aproximadamente cada 2 semanas en los grupos de tratamiento para mantener la intensidad de entrenamiento apropiada. Ya que las cargas máximas de 1 repetición excéntricas (1RM) son difíciles de evaluar (muy subjetivo) y son extremadamente grandes en relación a la fuerza concéntrica máxima de un sujeto, incrementando el potencial riesgo de lesión, en este estudio la fuerza muscular para 6 ejercicios fue determinada estableciendo el método de 1RM concéntrica (4). Además, han sido reportados efectos de entrenamiento cruzado con el entrenamiento de fuerza excéntrico que resulta en ganancias de fuerza concéntrica (8, 11). El método de 1RM fue definido como el peso que puede ser levantado a través de un recorrido de movimiento definido no más de una vez usando una técnica apropiada. La evaluación de la fuerza fue precedida por 5 min de entrada en calor en una bicicleta ergométrica. Los sujetos recibieron instrucciones detalladas acerca de cada ejercicio y realizaron cada ejercicio varias veces con muy poca carga para mejorar la familiarización y entrar en calor. El objetivo fue producir 1RM dentro de 3-5 esfuerzos para reducir el efecto de la fatiga. Para explicar el aprendizaje y la familiarización con el procedimiento de entrenamiento de la fuerza, las evaluaciones de 1RM antes del inicio del estudio y en la condición inicial estuvieron separadas por 5-7 días. Fue registrado el mayor valor de 1RM alcanzado entre las dos evaluaciones de fuerza y representó la fuerza máxima de los sujetos para el ejercicio particular evaluado.

**Intervención de Fuerza**

La intervención de entrenamiento fue conducida 2 veces por semana durante 16 semanas (Tabla 2). No existían precedentes de entrenamiento excéntrico; de este modo, fueron elegidos 2 días por semana por 2 razones: (a) para permitir un descanso apropiado entre las sesiones, ya que las contracciones excéntricas pueden generar un gran daño muscular con el dolor asociado a esto; y (b) para que sea plausible el entrenamiento de los 28 sujetos, lo cual resultó en 37 horas de ejercicio asistidas por un entrenador por semana. Casa sesión de entrenamiento duró aproximadamente 40 minutos e incluyó 6 ejercicios: press de banca sentado, dorsal polea, curl de bíceps parado, extensión de tríceps parado, extensión unilateral de piernas sentado y flexión de rodillas sentado. Todos los ejercicios consistieron en solo acciones musculares excéntricas sin ningún componente concéntrico. Esto fue alcanzado dejando al sujeto bajar la carga contra la gravedad (durante 4 segundos) mientras el entrenador levantaba la carga a través del componente excéntrico del ejercicio.

El grupo HRT realizó 3 series de 6 repeticiones a una intensidad correspondiente al 125% de 1RM concéntrica. El grupo LRT realizó 3 series de 10 repeticiones a una intensidad correspondiente al 75% de su 1RM concéntrica para cada ejercicio (Tabla 2). Los sujetos en el grupo LRT realizaron 10 repeticiones, en oposición a las 6 repeticiones realizadas por el grupo HRT, para asegurar que el volumen de entrenamiento realizado fuera igual para ambos grupos.

**Absorciometría Dual por Energía de Rayos X**

La densidad mineral ósea (BMD) y el contenido mineral óseo (BMC) de todo el cuerpo, fémur proximal y columna lumbar fueron determinados mediante absorciometría dual por energía de rayos X (DXA; Hologic QDR-1500, versión del software 7.2). Adicionalmente, la masa magra y la masa grasa fueron medidas a partir del *scan* de todo el cuerpo. Los *scans* fueron realizados en la condición inicial y en la semana 16 para todos los sujetos para proporcionar los valores para todo el cuerpo y regionales de masa ósea, magra, y grasa. Los *scans* para todo el cuerpo, fémur proximal y columna lumbar fueron realizados con el sujeto posicionado de acuerdo a las especificaciones del fabricante. El coeficiente de variación de las mediciones de masa ósea en el laboratorio es menor a 1%.

Además de proporcionar, mediciones de masa ósea, magra y grasa de todo el cuerpo, el DXA también tiene la capacidad de realizar análisis regionales. Para corroborar los hallazgos de nuestros estudios previos sobre entrenamiento excéntrico en mujeres jóvenes (8), fueron determinados la BMD del segmento medio del fémur, BMC, masa magra y masa grasa a partir del *scan* para todo el cuerpo como una medición de especificidad del sitio. El análisis del fémur medio fue realizado llevando el *scan* de todo el cuerpo a una función que permitió al técnico determinar la segmentalización de la imagen (8). El segmento reportado en este estudio fue la mitad de los 3 pixels medidos entre la mitad de la articulación de la rodilla y la parte superior del trocánter mayor. La reproductibilidad de los valores de BMD, evaluada en 10 voluntarios sanos, estuvo entre 0.5 y 1.0% para la determinación del segmento.

**Marcadores Bioquímicos**

Las muestras sanguíneas y de orina recolectadas en la mañana antes de las evaluaciones de ejercicio y fuerza para el análisis de osteocalcina, deoxipiridolina, creatinquinasa (CK), y creatinina. Fueron extraídos aproximadamente 6 ml de sangre a partir de la vena antecubital del brazo en un tubo *vacutainer* sérico con el sujeto en reposo. Fue permitido que la muestra se coagulara durante 15-30 minutos. Luego fue inmediatamente centrifugada durante 10 minutos a 3000 g, pipeteada en frascos de almacenamiento, y congelada a -80 ºC hasta los análisis. Las muestras de orina fueron tomadas en la segunda de recolección de datos. Un milímetro y un milímetro y medio de orina fueron pipeteados en frascos de almacenamiento y congelados a -80ºC hasta los análisis. Todas las muestras en la condición inicial y en la semana 16 fueron utilizadas para los análisis y corridas en duplicado. Las muestras fueron analizadas por inmunoensayo enzimático (ELISA) o inmunoensayo enzimático usando el lector de plato Dynex Opsys MR (Dynex Technologies, Inc., Chantilly, VA). Los valores fueron calculados a partir del ajuste de la curva de calibración (sigmoidea) con una ecuación logística de 4 parámetros usando el software proporcionado por el fabricante (Revelation QuickLink 4.04).

La deoxipiridinolina urinaria, un marcador de la resorción del hueso, fue medida usando el kit de análisis (R)-D ELISA Pyrilinks (Metra Biosystems, Mountain View, CA). La osteocalcina sérica, un marcador de la formación de hueso, fue medida usando un kit ELISA (Diagnostic Systems Laboratorios, Inc., Webster, TX). El coeficiente de variación de la precisión intra- e interanálisis de la deoxipiridinolina fue 4.7 y 5.2%, respectivamente, y los valores fueron corregidos para las diferencias en la concentración de orina dividiendo por la creatinina urinaria analizada usando el Kodak Ectachem DT-60 II (Jonson & Jonson Clinical Diagnostics, Los Angeles, CA). El coeficiente de variación de la precisión intra- e interanálisis de la osteocalcina fue 6.5 y 4.8%, respectivamente.

La CK sérica fue analizada mediante técnicas espectrofotométricas estándar (Ektachem DT II System, Johnson & Johnson, Rochester, NY), y estos valores fueron usados para representar la magnitud de daño muscular asociado con el PRT excéntrico.

**Dolor Muscular**

Además de evaluar el daño muscular mediante los niveles de CK sérica, fue administrada una escala de sensación percibida de intensidad del dolor una vez por semana. La escala estaba entre ningún dolor hasta dolor extremo (17). Antes del ejercicio, a los sujetos se les pidió que eligieran el indicador apropiado en la escala que representaba su pico de dolor desde el último día de entrenamiento.

**Cuestionario de la Menstruación, Actividad Física, e Historia de Salud**

Para evaluar el nivel de actividad física y salud de los sujetos anterior y actual, se les pidió que completaran un cuestionario sobre la menstruación, actividad física e historia de salud. El cuestionario incluyó información acerca de la edad de la menarca, historia actual de la menstruación, y pasado y presente acerca del uso de OC, participación en

deportes y ejercicio, e historia de salud de la familia. La información reportada fue confirmada mediante entrevistas orales.

**Análisis Estadísticos**

Los datos fueron analizados usando el Paquete estadístico para Ciencias Sociales versión 9.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Fue usado un análisis de varianza (ANOVA) con mediciones repetidas para determinar las diferencias entre y dentro de los grupos para las variables dependientes en la condición inicial y a las 16 semanas. Adicionalmente, fue usado un diseño ANOVA 2x5 (grupo x tiempo) con mediciones repetidas para evaluar los efectos principales significativos y de interacción para los grupos LRT y HRT. Fueron llevadas a cabo comparaciones post hoc Tukey en el caso de que se encontraran valores F significativos. Fue establecido un nivel α bidireccional a $p \leq 0.05$ para todas las mediciones.

# RESULTADOS

**Fuerza**

Las mediciones en la condición inicial de la fuerza de 1RM concéntrica fueron similares en los grupos LRT, HRT, y control (Tabla 3). Luego de 16 semanas de intervención del estudio, las ganancias absolutas y relativas en la fuerza concéntrica en 1RM se incrementaron en forma similar en los grupos LRT y HRT, con la excepción del ejercicio press de banca, el cual fue dos veces mayor en el grupo HRT (8.7±7.6kg, media±DS vs. 14.8±5.6kg, respectivamente, $p<0.001$). Adicionalmente, las ganancias relativas (%) en la fuerza concéntrica de 1RM en ambos grupos fueron significativamente diferentes con respecto a la ausencia de cambio en la fuerza en el grupo control (Figura 1a).

**Composición Corporal**

Luego de 16 semanas de intervención del estudio, la masa magra se incrementó significativamente en tanto el grupo LRT (0.7±0.6kg, $p=0.002$) como en el grupo HRT (0.9±0.9kg, $p=0.006$), lo cual no fue significativamente diferente entre los grupos ($F=1.54$, $p=0.228$). No fueron demostrados cambios significativos en el grupo control. La masa grasa se incrementó significativamente en el grupo LRT (0.3±0.6kg, $p=0.05$), mientras que no fueron demostrados cambios significativos en la masa grasa tanto en el grupo HRT como control. Estas alteraciones en la masa magra y grasa resultaron en una ganancia significativa en el peso corporal total solo en el grupo LRT (1.0±0.8kg, $p<0.001$). En la condición inicial, las mediciones de BMC y BMD fueron similares en el grupo LRT, HRT y control (Tabla 4). Luego de las 16 semanas de intervención del estudio, no fue medido ningún cambio en la BMD, ocurriendo cambios solo en BMC de la columna vertebral (0.855±0.958g, $F=5.52$, $p=0.005$) (Figura 1b) en el grupo LRT. No fueron encontrados cambios significativos en BMC o BMD en todo el cuerpo o en el fémur proximal en ningún grupo (Tabla 4).

**Marcadores Bioquímicos del Hueso**

En la condición inicial, las mediciones de osteocalcina y de puentes cruzados de deoxipiridinolina fueron similares en los grupos LRT, HRT, y control (Tabla 5). Luego de 16 semanas de intervención del estudio, la deoxipiridolina no cambió significativamente en el grupo LRT. Además, no hubo diferencias significativas entre los 5 puntos de tiempo medidos, aunque hubo una tendencia hacia el incremento de la deoxipiridinolina en comparación con la condición inicial en la semana 8, después de la cual retornó a la condición inicial (Figura 2a).

Los niveles de deoxipiridinolina en el grupo HRT siguieron una tendencia similar que en el grupo LRT, alcanzando los valores más altos en la semana 8. Sin embargo, en el grupo HRT, la deoxipiridinolina disminuyó significativamente desde la condición inicial (45±89%, $p=0.027$) y desde la semana 4 (15.3±20.7 $nM.mM^{-1}$) hasta la semana 16 (4.13±4.7 $nM.mM^{-1}$, $p=0.035$) (Figura 2a). De forma considerable, la tendencia general de cambio en la deoxipiridinolina fue similar en ambos grupos, sin ninguna diferencia significativa observada entre el cambio que ocurrió en los 2 grupos ($F=0.443$, $p=0.643$), tampoco fueron observados efectos de interacción.

La osteocalcina disminuyó significativamente (51±48%, $p=0.007$) en el grupo LRT durante las primeras 8 semanas del estudio (Figura 2b) y luego se incrementó significativamente (165±61%, $p<0.001$) desde las semanas 8-16. Además, luego de 16 semanas de intervención, la osteocalcina se incrementó significativamente en el grupo LRT (31±61%, $p=0.037$) en comparación con la condición inicial. Las alteraciones en la osteocalcina en el grupo HRT siguieron una tendencia similar que la encontrada en el grupo LRT; sin embargo, la magnitud de cambio fue mayor. La osteocalcina disminuyó significativamente (68±27%, $p<0.001$) en el grupo HRT durante las primeras 8 semanas de intervención del estudio (Figura 2b). Esta declinación relativa en la osteocalcina en el grupo HRT fue significativamente mayor ($p=0.030$) que la declinación significativa en la osteocalcina en el grupo LRT a partir de la condición inicial hasta la semana 8. Luego de 8 semanas de intervención, la osteocalcina demostró un incremento significativo (243±68%, $p<0.001$) desde la semana 8-16,

y este cambio no fue significativamente diferente entre los grupos.

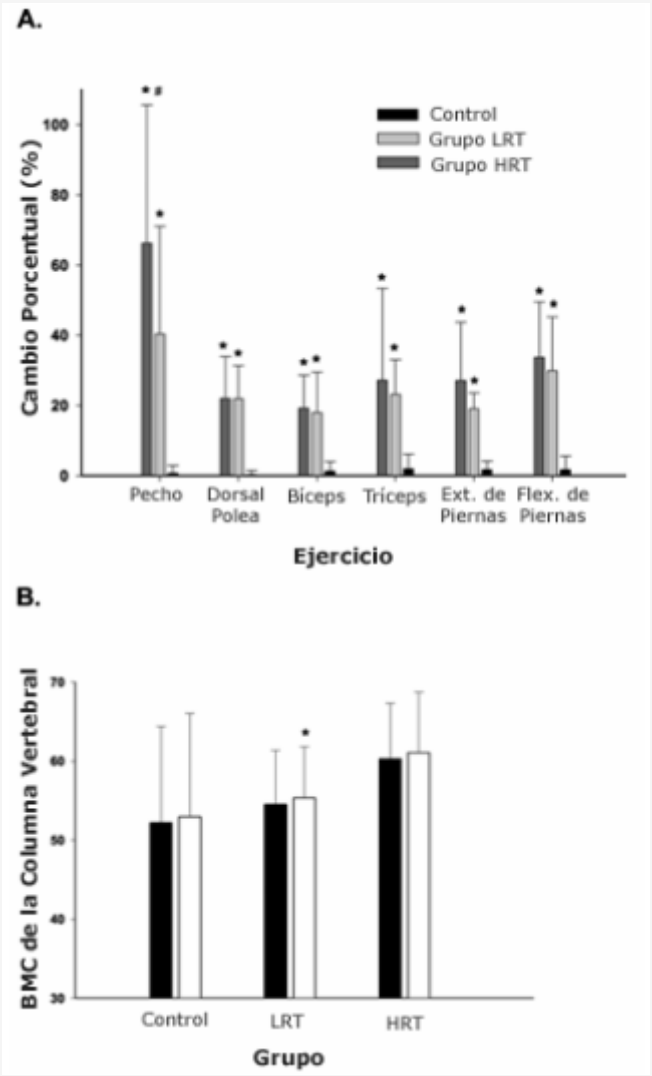



***Figura 1.*** *(a) Cambio relativo (%) en la fuerza desde la condición inicial a la semana 16. LRT representa el grupo de entrenamiento de la fuerza progresivo de baja intensidad. HRT representa el grupo de entrenamiento de la fuerza progresivo de alta intensidad.* $^{*}$*Incremento significativo desde la condición inicial a la semana 16, $p<0.05$. #Significativamente mayor que el grupo LRT, $p<0.001$. (b) Contenido mineral óseo de la columna vertebral (BMC) para la condición inicial (barras blancas) y la semana 16 (barras oscuras) medido mediante absorciometría dual por energía de rayos x (DXA). *Significativamente mayor que los valores de la condición inicial, $p<0.05$.*

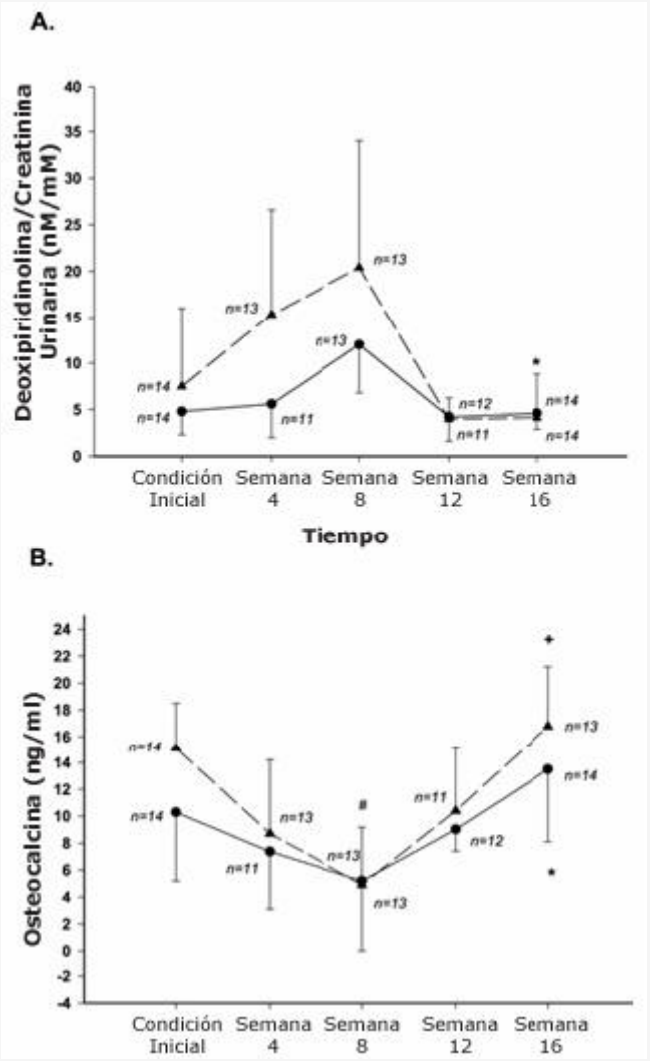



***Figura 2.*** *(a) Cambios absolutos en la deoxipiridinolina en el grupo (círculos) de entrenamiento de fuerza progresivo de baja intensidad (LRT) y en el grupo (triángulos) de entrenamiento de la fuerza progresivo de alta intensidad (HRT) desde la condición inicial hasta la semana 16. *Disminución significativa desde la condición inicial en el grupo HRT, p<0.05. (b) Cambios absolutos en la osteocalcina en el grupo LRT (círculos), en el grupo HRT (triángulos) desde la condición inicial hasta la semana 16 del estudio. #Disminución significativa desde la condición inicial en los grupos LRT y HRT. *Incremento significativo desde la condición inicial en el grupo LRT. +Incremento significativo a partir de las semanas 8-16 en tanto el grupo LRT como HRT, p<0.05 para todas las diferencias significativas.*

**CK Sérica**

En la condición inicial, las mediciones de CK sérica fueron similares en los grupos LRT, HRT, y control. En el grupo LRT, la CK sérica se incrementó significativamente (60±55%, p=0.025) desde la condición inicial hasta la semana 4. Los niveles medios de CK sérica fueron mantenidos arriba de la condición inicial a través de todo el estudio en el grupo LRT, pero tendieron a disminuir ligeramente después de la semana 4 (Figura 3). Luego de 16 semanas de intervención del estudio, el grupo LRT demostró un incremento significativo en la CK sérica de 47±51% (p=0.025). De forma similar al grupo LRT, el grupo HRT mostró un incremento significativo (35±49%, p=0.021) desde la condición inicial hasta la semana 4 de intervención. En contraste al grupo LRT, luego de la semana 4 del estudio, los niveles séricos de CK disminuyeron significativamente en el grupo HRT, retornando a niveles similares a los valores de la condición inicial (Figura 3). No fueron observados cambios significativos en la CK sérica en el grupo control.

**Dolor Percibido**

Los sujetos en el grupo LRT clasificaron al dolor percibido como ligeramente intenso (n=9) o intenso (n=5) las primeras 2 semanas del estudio, después de las cuales sus clasificaciones del dolor percibido se redujeron a moderado (n=6), suave (n=3), o muy suave (n=5). Los valores de dolor percibido en el grupo HRT reportados fueron más intensos, frecuentemente

recibiendo valores de muy intenso (n=12), o extremadamente intenso (n=2) en la escala de dolor durante las primeras 2 semanas del estudio. Sin embargo, 8 sujetos y 6 sujetos reportaron, tanto sensaciones de ausencia de dolor o dolor muy suave, respectivamente, en el grupo HRT en las evaluaciones subsiguientes.

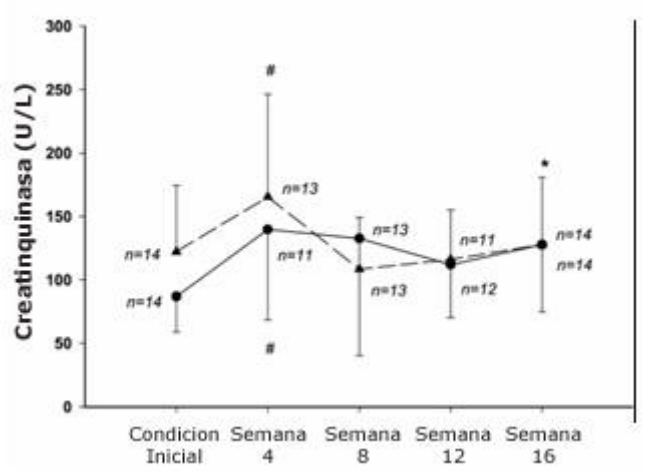



***Figura 3.*** *Cambios absolutos en la creatinquinasa en el grupo (círculos) de entrenamiento de la fuerza progresivo de baja intensidad (LRT) y en el grupo de entrenamiento de la fuerza progresivo de alta intensidad (HRT) desde la condición inicial hasta la semana 16. #Incremento significativo desde la condición inicial en tanto el grupo LRT como el grupo HRT. *Incremento significativo desde la condición inicial en el grupo LRT, p<0.05 para todas las diferencias significativas.*

| | LRT (n=14) | HRT (n=14) | Control (n=9) |
|---|---|---|---|
| *Edad (años)* | 24.4±1.9 | 24.0±1.4 | 24.4±2.2 |
| *Talla (cm)* | 164.4±6.5 | 165.8±5.5 | 161.4±8.8 |
| *Masa Corporal Total (kg) ‡* | 56.8±7.2 | 55.7±6.0 | 58.2±13.5 |
| *Masa Corporal Magra (kg) ‡* | 40.7±4.2 | 40.2±3.8 | 40.8±7.5 |
| *Grasa Corporal (%)‡* | 24.3±3.4 | 23.6±3.9 | 25.1±5.6 |

***Tabla 1.*** *Características de los sujetos del estudio en la condición inicial. LRT= entrenamiento de la fuerza progresivo excéntrico de baja intensidad; HRT= entrenamiento de la fuerza progresivo excéntrico de alta intensidad. Los valores son presentados como media±DS. ‡ Medido mediante absorciometría dual por energía de rayos X.*

| Ejercicio | RT de Baja Intensidad | RT de Alta Intensidad |
|---|---|---|
| *Sesiones/semana* | 2 | 2 |
| *Intensidad † (%)* | 75 | 125 |
| *Series* | 3 | 3 |
| *Repeticiones* | 10 | 6 |
| *Volumen de Entrenamiento ‡(intensidad x series x repeticiones)* | 22.5 | 22.5 |

***Tabla 2.*** *Protocolo de entrenamiento de fuerza excéntrico. RT= entrenamiento de la fuerza. † Porcentaje de 1 repetición máxima concéntrica. ‡ Calculado usando los números en la tabla para demostrar los volúmenes de entrenamiento similares entre los grupos.*

| Ejercicio | RT de Baja Intensidad (n=14) | | RT de Alta Intensidad (n=14) | | Control (n=9) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Condición Inicial | Semana 16 | Condición Inicial | Semana 16 | Condición Inicial | Semana 16 |
| *Press de banca* | 25.1±7.5 | 39.9±9.2 ‡ | 28.2±10.1 | 37.0±5.6 ‡ | 30.9±5.1 | 31.2±5.3 |
| *Dorsal Polea* | 34.7±6.9 | 42.0±7.7 ‡ | 34.6±6.8 | 41.9±7.2 ‡ | 35.4±5.8 | 35.5±5.7 |
| *Curl de Bíceps* | 20.5±4.4 | 24.1±4.3 ‡ | 20.7±4.5 | 24.1±3.9 ‡ | 21.5±3.4 | 21.8±3.3 |
| *Extensión de Tríceps* | 14.4±4.4 | 18.0±5.0 ‡ | 14.6±2.9 | 17.9±3.2 ‡ | 15.0±3.7 | 15.4±4.3 |
| *Extensión de Piernas* | 49.2±10.1 | 61.2±8.0 ‡ | 50.0±7.9 | 59.4±8.9 ‡ | 46.5±7.5 | 47.2±7.4 |
| *Flexión de Piernas* | 39.8±7.4 | 52.6±8.9 ‡ | 40.3±7.2 | 51.7±7.5 ‡ | 36.1±7.8 | 36.7±7.7 |

***Tabla 3.*** *Fuerza concéntrica en 1RM (kg) en la condición inicial y en la semana 16. RM=repetición máxima; RT=entrenamiento de fuerza. Los valores son presentados como media±DS. ‡ Significativamente mayor que la condición inicial.*

| | RT de Baja Intensidad (n=14) | | RT de Alta Intensidad (n=14) | | Control (n=9) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Masa Ósea* | Condición Inicial | Semana 16 | Condición Inicial | Semana 16 | Condición Inicial | Semana 16 |
| *BMC (g)* | | | | | | |
| *Columna vertebral* | 54.5±6.9 | 55.4±6.5 ‡ | 60.2±7.0 | 61.1±.7.7 | 52.2±12.2 | 52.9±13.1 |
| *Fémur proximal* | 31.1±4.0 | 31.4±4.3 | 31.6±5.5 | 32.1±5.5 | 25.9±5.6 | 26.9±5.8 |
| *Fémur medio* | 16.2±2.2 | 16.3±2.2 | 16.6±2.6 | 16.7±2.7 | 15.5±3.5 | 15.6±3.8 |
| *Todo el cuerpo* | 2187±172 | 2192±182 | 2239±339 | 2252±359 | 2070±483 | 2094±508 |
| *BMD (g/cm2)* | | | | | | |
| *Columna vertebral* | 1.03±0.07 | 1.03±0.07 | 1.07±0.09 | 1.06±0.09 | 0.98±0.01 | 0.98±0.01 |
| *Fémur proximal* | 0.98±0.10 | 0.97±0.10 | 1.01±.12 | 1.01±0.12 | 0.89±0.01 | 0.90±0.01 |
| *Fémur medio* | 1.44±0.14 | 1.41±0.15 | 1.46±0.14 | 1.48±0.17 | 1.41±0.14 | 1.40±0.17 |
| *Todo el cuerpo* | 1.06±0.03 | 1.06±0.04 | 1.09±0.08 | 1.09±0.09 | 1.03±0.09 | 1.04±0.08 |

***Tabla 4.*** *Mediciones de BMC y de BMD en la condición inicial y en la semana 16 obtenidas mediante DXA. Los valores son presentados como media±DS. ‡ Significativamente mayor que en la condición inicial.*

| | RT de Baja Intensidad (n=14) | RT de Alta Intensidad (n=14) | Control (n=9) |
|---|---|---|---|
| *Deoxipiridinolina (nM/mM) ‡* | | | |
| *Condición Inicial* | 4.7±2.5 | 7.4±8.8 | 6.9±6.2 |
| *Semana 16* | 4.6±1.7 | 4.13±4.7 § | 5.9±6.6 |
| *Osteocalcina (ng/ml)* | | | |
| *Condición Inicial* | 9.6±5.3 | 15.1±3.4 | 10.2±4.5 |
| *Semana 16* | 13.5±5.4 § | 16.8±4.4 | 9.8±5.3 |

***Tabla 5.*** *Valores de deoxipiridinolina y de osteocalcina en la condición inicial y en la semana 16. RT=entrenamiento de la fuerza. Los valores son presentados como media±DS. ‡ Deoxipiridinolina/creatinina urinaria. § Significativamente mayor que en la condición inicial.*

## DISCUSION

Para nuestro conocimiento, este es el primer estudio realizado en mujeres jóvenes que describe las adaptaciones musculoesqueléticas a un PRT excéntrico para todo el cuerpo usando pesos libres y máquinas de entrenamiento de la fuerza estándar. Nuestros hallazgos proporcionan importantes resultados acerca de los efectos de tanto LRT y HRT sobre el músculo esquelético, la masa ósea, y los marcadores bioquímicos óseos y la eficacia de tales técnicas de entrenamiento.

Uno de los hallazgos más importantes fue que el LRT (75% de 1RM concéntrica) fue tan efectivo como el HRT (125% de 1RM concéntrica). Este hallazgo fue inesperado, ya que fue hipotetizado que el grupo HRT estaría expuesto a mayores cargas musculares y daño inducido por la contracción, que resultaría en mayores adaptaciones del músculo y el hueso en comparación con el grupo LRT.

Los hallazgos más interesantes del estudio fueron las alteraciones en los marcadores de la bioquímica del hueso. Primero, hubo un incremento significativo en la osteocalcina (marcador de la formación de hueso) sin ningún cambio en la deoxipiridinolina (marcador de la resorción de hueso) en el grupo LRT. Las concentraciones elevadas de osteocalcina en conjunción con la disminución de deoxipiridinolina optimizarían el potencial para incrementar la masa ósea incrementando la formación y disminución de la resorción, respectivamente. Sin embargo, la ausencia de cambio en la deoxipiridinolina combinada con el incremento de los niveles de osteocalcina en el grupo LRT debería finalmente resultar en un aumento de la formación de hueso. De manera inversa, en el grupo HRT, la deoxipiridinolina disminuyó significativamente luego de 16 semanas de intervención del estudio, mientras que las concentraciones de osteocalcina demostraron un gran incremento no significativo. Estos hallazgos sugieren que la intensidad del PRT excéntrico influencia los patrones iniciales de adaptación ósea al entrenamiento. Cabe destacar que el entrenamiento excéntrico de baja intensidad influenció la formación de hueso y BMC, mientras que el entrenamiento excéntrico de alta intensidad influenció más en la inducción de adaptaciones en la resorción ósea. Están garantizadas futuras investigaciones acerca de la influencia de la intensidad en los patrones de adaptación ósea al entrenamiento de la fuerza para permitirnos diferenciar si diferentes intensidades de trabajo excéntrico influencian el hueso a través de diferentes mecanismos.

Una limitación en la interpretación de los marcadores óseos resultó en la inclusión de mujeres jóvenes que tomaban OCs. Ya que el entorno hormonal es un importante regulador de la respuesta osteogénica a la carga, incluir en el estudio a las mujeres que estaban usando OCs puede haber confundido los hallazgos. Sin embargo, más del 71% de los sujetos en cada grupo de entrenamiento estaba tomando OCs, y cuando los datos fueron analizados controlando el nivel de OC (ANCOVA), los resultados fueron similares a los hallazgos reportados. De cualquier modo, las mediciones de deoxipiridinolina y osteocalcina fueron altamente variables, aunque estadísticamente significativas, pero pueden no necesariamente connotar significancia fisiológica.

La ausencia de alteraciones significativas en la masa ósea en el grupo HRT fue sorprendente, ya que nosotros hemos demostrado previamente un incremento significativo de 3.9% en la BMD de la parte media del fémur en mujeres jóvenes luego de 18 semanas de entrenamiento excéntrico máximo en un dinamómetro isocinético (8). La única adaptación significativa de la masa ósea en este estudio fue demostrada en el grupo LRT, con un incremento de 1.7% en el BMC de la columna vertebral. Aunque estadísticamente significativos, estos hallazgos deberían ser interpretados con cuidado, ya que no hubo incrementos significativos adicionales en el BMC o la BMD en ningún otro sito medido y, de hecho, este puede ser solo un hallazgo falso. Mientras que fue hipotetizado que se lograría una mayor masa ósea, particularmente en el grupo HRT, estos hallazgos pueden haber estado limitados por la corta duración de la intervención del estudio. Se sabe que el recambio medio en un sitio de remodelación óseo es de 6 meses; sin embargo, el recambio óseo puede ocurrir en un período tan corto como 3 meses o tan largo como 18 meses (19). La mayoría de los estudios de entrenamiento de intervención son conducidos por períodos más cortos a 1 año, debido a los propósitos logísticos, las altas tasas de desgaste asociadas, y la evidencia acerca de que los estudios más largos no resultan en una mejora de la masa ósea (5, 16). Aunque no podemos asegurar que una intervención de entrenamiento más larga resultaría en ganancias de masa ósea, las alteraciones en los marcadores bioquímicos óseos en este estudio sugiere esta posibilidad. Así, el PRT excéntrico puede necesitar ser continuado por períodos más largos a 16 semanas con el objetivo de provocar incrementos significativos en la masa ósea en múltiples sitos del esqueleto.

Los ejercicios de fuerza elegidos para este estudio pueden no haber sido óptimos para estimular una respuesta osteogénica, particularmente en el grupo HRT. Los ejercicios de cadena cinemática cerrada, como la sentadilla, podrían haber generado mayores tasas y magnitudes de esfuerzo que los ejercicios realizados en este estudio, los cuales podrían haber maximizado la respuesta osteogénica a las cargas a muy alta intensidad. Sin embargo, ya que el grupo de alta carga estaba entrenando con el 125% de su máximo concéntrico, nosotros creemos que la evaluación y el entrenamiento con pesos extraordinarios para un ejercicio que debe ser realizado con una técnica perfecta para evitar las lesiones implica riesgos injustificados en individuos previamente desentrenados. Ciertamente, necesitan ser conducidas investigaciones que usen otros ejercicios de cadena cinemática cerrada, como prensa de piernas, los cuales también van a cargar el fémur y la columna vertebral proximal sin los riesgos potenciales o requiriendo la misma habilidad para realizarlos que el ejercicio de sentadilla.

Análogo con nuestros hallazgos acerca de la masa ósea, fueron anticipados incrementos modestos y similares en la masa corporal magra (0.7±0.6kg en el grupo LRT y 0.9±0.9kg en el grupo HRT), ya que es conocido que las contracciones excéntricas de alta intensidad generan mayor daño muscular que otros tipos de contracciones y pueden de este modo inducir mayor síntesis proteica, y por lo tanto, mayor hipertrofia muscular. Efectivamente, los investigadores han reportado que las contracciones excéntricas resultan en una mayor hipertrofia muscular que las contracciones

concéntricas solas (9, 11, 18). Dados los hallazgos de estos estudios, parece que, en mujeres jóvenes que realizan LRT o HRT dos veces por semana, el estímulo para la hipertrofia muscular bajo cargas drásticamente diferentes es similar. Puede ser posible que exista una respuesta de bajo umbral al entrenamiento excéntrico. Sin embargo, es importante destacar la utilidad y seguridad del entrenamiento con el 75% de una repetición concéntrica máxima, el cual provoca los mismos beneficios que el entrenamiento con intensidades supramáximas.

La fuerza muscular voluntaria máxima se incrementó en forma similar en los grupos LRT y HRT, con la excepción del ejercicio press de banca, en el cual la fuerza fue casi dos veces mayor en el grupo HRT. Es difícil determinar porque el entrenamiento excéntrico a una intensidad extremadamente alta no resultó en mayores incrementos en la fuerza que el entrenamiento a una intensidad mucho más baja cuando es bien sabido que el entrenamiento concéntrico con cargas más pesadas resulta en mayores ganancias de la fuerza que el entrenamiento con cargas más livianas (4). Una posible explicación es que, sin tener en cuenta la intensidad de entrenamiento, ambos grupos de entrenamiento excéntrico realizaron el mismo volumen de entrenamiento (intensidad x series x repeticiones), sugiriendo que el trabajo total realizado fue similar. Sin embargo, una explicación más probable es la disminución de la influencia de las adaptaciones neurales en las ganancias de fuerza asociadas con las contracciones excéntricas. Ya que las contracciones excéntricas requiere menos adaptaciones neurales para generar la misma fuerza que una contracción concéntrica (8, 14), la adaptación neural y la contribución a la ganancia de fuerza del entrenamiento excéntrico solo puede ser mínima.

Además, las ganancias de fuerza reportadas en este estudio pueden ser subestimadas, aunque las mismas son similares a las ganancias de fuerza reportadas en estudios sobre entrenamiento de la fuerza previos (7, 10). El concepto de especificidad del entrenamiento sugiere que las mayores ganancias en la fuerza son medidas cuando el patrón de movimiento evaluado es el mismo que el patrón de movimiento entrenado (i.e., evaluación de la fuerza excéntrica de los músculos entrenados excéntricamente) (9). Sin embargo, la fuerza excéntrica máxima no es medida efectivamente, ya que la misma requiere regular el descenso controlado de un peso contra la gravedad a través de un recorrido de movimiento (una medición muy subjetiva), lo cual puede también arriesgar la seguridad del entrenado. Consecuentemente, por razones de practicidad y seguridad, nosotros elegimos determinar la fuerza por el método establecido de 1RM. El riesgo de seguridad para el entrenado y el entrenador es reducido cuando se levantan y bajan cargas submáximas. De este modo, nuestros hallazgos de ganancias similares de 20-40% entre los 2 grupos sugieren que entrenar con el 75% de 1RM concéntrica es más ventajoso que entrenar con el 125% de 1RM concéntrica.

Nosotros esperábamos que el grupo HRT experimentara un mayor daño muscular que el grupo LRT, como fue determinado por la CK sérica y dolor muscular percibido. Mientras que nosotros reconocimos que las alteraciones significativas en la CK reportadas en este estudio son muy modestas, otros investigadores que reportaron CK sérica elevada como resultado del ejercicio excéntrico han diseñado estudios que cargan en forma máxima a un solo grupo muscular durante un largo período, generando un daño muscular mucho mayor que los ejercicios de corta duración de grupos musculares múltiples realizados en este estudio. Típicamente, mientras mayor tensión es generada en un músculo por la contracción excéntrica, mayor es el daño muscular inducido (1). Aunque la tensión muscular fue probablemente extremadamente alta cuando fueron realizadas las 6 repeticiones por el grupo HRT, las 4 repeticiones adicionales por serie realizadas por el grupo LRT podrían haber proporcionado un daño muscular repetitivo, inducido de baja intensidad suficiente para producir la elevación sostenida de los niveles de CK sérica.

Alternativamente, más importante que la intensidad del entrenamiento puede ser el mayor número de contracciones excéntricas realizadas en el grupo LRT. Los hallazgos a partir de la escala de dolor percibido usada en este estudio corroboran los resultados de la CK del daño muscular bien modesto aunque sostenido en el grupo LRT. Los sujetos en el grupo LRT valoraron al dolor percibido como ligeramente intenso las primeras 2 semanas de intervención, después de las cuales sus valores de dolor percibido se redujeron a moderado, suave, o muy suave. Sin embargo, en ningún tiempo ningún sujeto en el grupo LRT reportó ausencia de dolor.

Es posible que los hallazgos similares entre los grupos en este estudio fueron el resultado de que los sujetos entrenados con alta intensidad no fueron capaces de bajar efectivamente el peso en contra de la gravedad, lo cual disminuiría la tensión generada por los músculos activos. Nosotros elegimos la intensidad de 125% de 1RM concéntrica debido a que intensidades mayores al 130-140% resultan en una carga que no puede ser controlada en contra de la gravedad (12). De este modo, si la fuerza externa excedió la capacidad del sujeto para controlar la fuerza, el entrenamiento a la intensidad del 125% puede haber sido inefectivo. Sin embargo, a todos los sujetos se les pidió que bajaran el peso en una cuenta de 4 segundos, demostrando el control efectivo de la carga. Aunque no pudimos evaluar directamente la producción de fuerza muscular in vivo, confiamos en que los sujetos en el grupo HRT estaban realizando contracciones excéntricas supramáximas en una forma controlada.

En conclusión, los hallazgos de este estudio sugieren que el PRT excéntrico para todo el cuerpo resultó en ganancias considerables en la fuerza muscular con incrementos modestos en la masa corporal magra, sin tener en cuenta la intensidad de entrenamiento. Además, las ganancias de 20-40% en la fuerza concéntrica luego de las 16 semanas de PRT

excéntrico en las mujeres jóvenes fueron similares a los incrementos reportados por otros investigadores que usaron protocolos de entrenamiento estándar. Sin embargo, la ausencia de un grupo de entrenamiento estándar que incluyera tanto movimientos concéntricos como excéntricos limita las conclusiones que pueden ser establecidas a partir de estos hallazgos. Las alteraciones en los marcadores metabólicos óseos sugieren que la intensidad del PRT excéntrico influencia los patrones iniciales de adaptación ósea al entrenamiento y que una intervención de entrenamiento más larga, efectivamente, puede resultar en un aumento de la masa ósea. Finalmente, la magnitud de la carga puede no ser el mayor contribuyente a la adaptación del hueso a partir del PRT excéntrico, y parece que las intensidades submáximas pueden ser óptimas para las adaptaciones musculoesqueléticas. Son necesarios futuros estudios para corroborar los hallazgos de esta investigación.

**Aplicaciones Prácticas**

El entrenamiento de la fuerza puede aumentar la masa muscular y la fuerza y mejorar la salud ósea de la mujer. Esto es de particular importancia en mujeres jóvenes, ya que el pico de masa ósea no es generalmente alcanzado hasta la edad de 30 años, y el entrenamiento de la fuerza durante este tiempo puede mejorar el pico de BMD. Debido a que el entrenamiento exclusivamente con las contracciones excéntricas requiere la ayuda de un entrenador o compañero o el uso de equipo especializado, el entrenamiento excéntrico tiene limitaciones prácticas. Mientras que han sido propuestas las ventajas del entrenamiento excéntrico, los hallazgos de este estudio demuestran que el entrenamiento excéntrico al 75% de 1RM concéntrica resulta en adaptaciones musculoesqueléticas significativas. Adicionalmente, esta intensidad de entrenamiento permite al entrenado realizar físicamente el movimiento concéntrico sin ayuda. De este modo, el entrenado podría ser capaz de mover concéntricamente la carga contra la fuerza de gravedad y controlar excéntricamente la carga, retornando a la posición de inicio. Esto sería ventajoso en comparación del entrenamiento con cargas excéntricas que exceden la 1RM concéntrica, ya que esto requeriría un entrenador o compañero o el uso de equipamiento especial y podría comprometer la seguridad de los sujetos implicados. Sin embargo, si las cargas de entrenamiento excéntricas submáximas son realizadas en combinación de cargas concéntricas, como ocurre con el entrenamiento de la fuerza estándar, el entrenado debería concentrarse en el componente excéntrico realizando movimientos controlados y lentos (4 segundos).

## REFERENCIAS


1. Bar-Or, O (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med. 4:381–394*
2. Bland, J.M., and D.G. Altman (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet. 1:307–310*
3. Bosco, C., P.V. Komi, J. Tihanyi, G. Fekete, and P. Apor (1983). Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol. 51:129–135*
4. Bosco, C., P. Luhtanen, and P.V. Komi (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. Appl. Physiol. 50:273–282*
5. Cherebeiu, G.C., J.T. Cervantes, G. Franco, J. Arciniega, and C.J. Crespo (1998). Maximum anaerobic power in a large sample of Mexican girls and boys. *In: XXVI Federation International Medicine in Sports (FIMS). Orlando, FL. pp. 1–5*
6. Falk, B., Y. Weinstein, R. Dotan, D.A. Abramson, D. Mann-Segal, and J.R. Hoffman (1996). A treadmill test of sprint running. *Scand. J. Med. Sci. Sports. 6:259–264*
7. Fell, J.W., J.M. Rayfield, J.P. Gulbin, and P.T. Gaffney (1998). Evaluation of the Accusport lactate analyzer. *Int. J. Sports Med. 19:199–204*
8. Fitzsimons, M., B. Dawson, D. Ward, and A. Wilkinson (1993). Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Aust. J. Sci. Med. Sport. 25:82–87*
9. Harmon, E.A., M.T. Rosenstein, P.N. Frykman, R.M. Rosenstein, and W.J. Kraemer (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *J. Appl. Sport Sci. Res. 5:116–120*
10. Hoffman, J.R., S. Epstein, M. Einbinder, and Y. Weinstein (2000). A comparison between the Wingate anaerobic power test to both vertical jump and line drill tests in basketball players. *J. Strength Cond. Res. 14:261–264*
11. Komi, P.V., and C. Bosco (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports. 10:261–265*
12. Rusko, H., A. Nummela, and A. Mero (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. 66:97–101*
13. Seiler, S., M. Taylor, R. Diana, J. Layes, P. Newton, and B. Brown (1991). Assessing anaerobic power in collegiate football players. *J. Appl. Sport Sci. Res. 4:9–15*
14. Tharp, G.D., R.K. Newhouse, L. Uffelman, W.G. Thorland, and G.O. Johnson (1985). Comparison of sprint and run times with performance on the Wingate anaerobic test. *Res. Q. 56:73–76*
15. Tritschler, K (2000). Practical Measurement and Assessment. *Philadelphia: Lippincott, Williams and Wilkins*
16. Vanwalle, H., G. Peres, and H. Monod (1987). Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med. 4:268–289*

**Cita Original**

Schroeder E. Todd and S. Victoria Jaque. Musculoskeletal Adaptations to 16 Weeks of Eccentric Progressive Resistance Training in Young Women. J. Strength Cond. Res.; 18 (2): 227□235; 2004