

Research

Período de Recuperación Corto vs. Largo entre las Series en el Entrenamiento de Fuerza Hipertrófico: Influencia sobre la Fuerza y el Tamaño Muscular, y las Adaptaciones Hormonales en Hombres Entrenado

Keijo Häkkinen¹, William J Kraemer⁴, Juha P Ahtiainen¹, Arto Pakarinen² y Markku Alen³

¹Department of Biology of Physical Activity and Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia 40014.

²Department of Clinical Chemistry, University of Oulu, Oulu, Finlandia.

³Peurunka-Medical Rehabilitation Center, Laukaa, Finlandia.

⁴Human Performance Laboratory, Department of Kinesiology, The University of Connecticut, Storrs, CT 06269, Estados Unidos.

RESUMEN

En el presente estudio fueron estudiadas las adaptaciones hormonales y neuromusculares agudas y a largo plazo al entrenamiento de la fuerza hipertrófico en 13 hombres recreacionalmente entrenados. El diseño experimental comprendió un período de entrenamiento de la fuerza hipertrófico, incluyendo dos períodos de entrenamiento separados de 3 meses con un diseño con entrecruzamiento, un protocolo de entrenamiento de pausa corta (SR, 2 minutos) en comparación con un protocolo de pausa prolongada (LR, 5 minutos) entre las series. Las concentraciones hormonales basales de testosterona sérica total (T), testosterona libre (FT), y cortisol (C) y el área transversal (CSA) muscular del cuadriceps femoral, determinada mediante resonancia magnética nuclear (MRI), fueron medidos en los meses 0, 3 y 6. Los dos protocolos de entrenamiento hipertrófico usados en el entrenamiento de los extensores de las piernas (prensa de piernas y sentadilla con series de 10 RM) fueron también examinados en las condiciones de laboratorio en los meses 0, 3 y 6. Los protocolos de ejercicio fueron similares con respecto al volumen total de trabajo (cargas x series x repeticiones), pero difirieron con respecto a la intensidad y a la duración de las pausas entre las series (mayor intensidad y pausa más prolongada de 5 minutos vs. en cierto modo menor intensidad, pero pausa más corta de 2 minutos). Antes e inmediatamente después de los protocolos, la fuerza isométrica máxima y la actividad electromiográfica (EMG) de los extensores de la pierna fueron medidas y fueron obtenidas muestras sanguíneas para la determinación de las concentraciones séricas de T, FT, C y hormona del crecimiento (GH) y lactato sanguíneo. Antes del período de entrenamiento experimental (mes 0) ambos protocolos condujeron a grandes disminuciones agudas ($p < 0.05-0.001$) en la fuerza isométrica máxima y la actividad EMG. Sin embargo, no fueron observadas diferencias significativas entre los

protocolos. Fueron observados incrementos significativos de 7% en la fuerza isométrica máxima, de 16% en 1RM de la pierna derecha, y de 4% en la CSA muscular del cuadriceps femoral durante el período de entrenamiento de la fuerza de 6 meses. Sin embargo, ambos períodos de entrenamiento de 3 meses con los períodos de descanso prolongado o corto entre las series resultaron en ganancias similares en la masa muscular y en la fuerza. No fueron observados cambios estadísticamente significativos en las concentraciones hormonales basales o en los perfiles de respuesta hormonal aguda durante el período experimental de entrenamiento entero de 6 meses. El presente estudio indicó que dentro de los protocolos de entrenamiento de la fuerza hipertróficos típicos usados en el presente estudio, la duración del tiempo de recuperación entre las series (2 vs. 5 minutos) no influyó la magnitud de las respuestas hormonales y neuromusculares agudas o las adaptaciones al entrenamiento a largo plazo en la fuerza y masa muscular en hombres previamente entrenados en fuerza.

Palabras Clave: hormonas séricas, ejercicios de sobrecarga, fuerza muscular, electromiografía, área de sección trans

INTRODUCCION

Es bien conocido que el entrenamiento de la fuerza sistemático tiene un potente efecto para promover incrementos en el tamaño y la fuerza de los músculos esqueléticos debido a combinaciones de múltiples factores, i.e., estrés mecánico, control neuromotor, demandas metabólicas, y actividades endocrinas. Un protocolo de fuerza intenso realizado con el principio de sobrecarga progresiva conduce a respuestas agudas observadas como incrementos en las concentraciones séricas de hormonas anabólicas y disminuciones temporarias en el rendimiento neuromuscular (5, 13, 20, 22, 24). De este modo, la magnitud de las respuestas hormonales y neuromusculares agudas puede ser considerada un importante indicador de los efectos de entrenamiento de diferentes ejercicios de fuerza intensos. Actualmente, ha sido hipotetizado que durante en entrenamiento de fuerza de larga duración, las respuestas hormonales agudas inducidas por un único ejercicio de sobrecarga contribuyen en forma importante a la hipertrofia muscular (22).

Ha sido demostrado que los ejercicios de fuerza intensos inducen respuestas hormonales agudas, las cuales dependen del tipo de protocolo de ejercicios, i.e., intensidad (carga) del ejercicio, número de series y repeticiones por serie, duración de los períodos de recuperación entre series, y masa muscular implicada (e.g., 12, 22). De acuerdo al estudio anterior de Kraemer et al. (22), la respuesta endocrina aguda en los ejercicios de fuerza intensos fue mayor en series de 10 repeticiones máximas (10RM) con períodos de recuperación cortos en comparación con períodos de recuperación largos (1 minuto vs. 3 minutos). Además, Gotshalk et al. (8) hallaron que las respuestas agudas de la hormona del crecimiento y la testosterona fueron mayores después de un protocolo de sobrecarga para todo el cuerpo realizado con 3 series por ejercicio que después de ejercicios de sobrecarga de una sola serie. Estos estudios anteriores sugieren que el mayor estímulo inducido por el ejercicio para el sistema endocrino es producido cuando el ejercicio de sobrecarga es realizado con series múltiples por ejercicio y períodos de recuperación cortos entre las series.

Para el propósito de la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento, ha sido generalmente recomendado usar series múltiples por ejercicio, un número de repeticiones moderadamente alto (e.g., 8-12RM) por serie, y períodos de recuperación cortos (i.e., 60-120 segundos) entre las series (5). Los períodos de recuperación cortos entre las series (i.e., 60 segundos) son usados con carga moderada (8-10RM) para lograr una mayor duración de tiempo bajo tensión junto con una respuesta hormonal anabólica grande para inducir incrementos en la hipertrofia muscular (22, 23). Sin embargo, los protocolos de entrenamiento que enfatizan en cierto modo mayores intensidades (carga) con períodos de recuperación largos entre las series de 8-10RM han sido recomendados en las publicaciones de entrenamiento de la fuerza de tipo práctico. Brevemente, las recomendaciones básicas en este tipo de sistemas de entrenamiento hipertróficos de alta intensidad han sido que solo unas pocas series de entrenamiento hasta un fallo concéntrico momentáneo (i.e., una serie hasta el agotamiento) con varios minutos de tiempo de recuperación entre las series sería necesario por ejercicio para sobrecargar progresivamente los músculos y estimular la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento. A pesar de la popularidad de estos sistemas de entrenamiento, ningún estudio previo sobre respuestas fisiológicas y/o de larga duración a los sistemas de entrenamiento hipertrófico de alta intensidad ha sido publicado hasta la actualidad.

El propósito del presente estudio fue investigar las respuestas hormonales y neuromusculares agudas y la recuperación a dos protocolos de sobrecarga intensos hipertróficos realizados con un volumen total similar para los ejercicios; una mayor intensidad y períodos de recuperación más prolongados entre las series en comparación con cierto modo menor intensidad, pero períodos de recuperación más cortos entre las series. Además, el presente estudio también investigó las adaptaciones hormonales y neuromusculares al entrenamiento usando estos dos protocolos de entrenamiento de sobrecarga intensos hipertróficos a través de un período de 3 meses.

MÉTODOS

Enfoque Experimental del Problema

Con 13 hombres recreacionalmente entrenados en fuerza fueron estudiadas las respuestas hormonales y neuromusculares agudas de dos protocolos de sobrecarga que diferían en los períodos de recuperación entre las series (2 vs. 5 minutos). Se esperaba que ambos protocolos de carga condujeran a respuestas hormonales agudas. De acuerdo a estudios anteriores, nosotros hipotetizamos que usando períodos de recuperación más cortos entre las series, la respuesta endocrina debería ser mayor junto con un mayor estrés metabólico (i.e., ácido láctico) que la de los períodos de recuperación más prolongados entre las series. Esto puede resultar en un mayor catabolismo tisular que estimule la remodelación del tejido muscular y la síntesis proteica en una mayor velocidad (26, 27). Las adaptaciones a largo plazo al entrenamiento de la fuerza fueron adicionalmente estudiadas con dos períodos experimentales de entrenamiento de 3 meses usando un diseño con entrecruzamiento. Los protocolos de entrenamiento y la carga total realizada por los sujetos fueron similares en ambos períodos de entrenamiento de 3 meses, pero los períodos de descanso entre las series fueron modificados a 2 o 5 minutos de acuerdo al diseño experimental. Debido a que ambos protocolos de ejercicio fueron hipertróficos en naturaleza y similares con respecto a la carga total usada, las diferencias en las respuestas hormonales agudas pueden, al menos en parte, explicar las posibles diferencias en las ganancias de fuerza y masa muscular durante el entrenamiento de la fuerza.

Sujetos

Trece hombres recreacionalmente entrenados en fuerza (media \pm DS; edad=28.7 \pm 6.2 años; talla=181.4 \pm 5.5 cm; peso=83.9 \pm 11.7 Kg.; 14.8 \pm 3.9% de grasa corporal; con una experiencia de entrenamiento de 6.6 \pm 2.8 años de entrenamiento de la fuerza continuo) se ofrecieron como sujetos. Ninguno de los sujetos era un atleta de fuerza competitivo. Para el estudio se ofrecieron veinte sujetos, pero solo 13 de ellos completaron toda la investigación de 6 meses. Debido al entrenamiento y a los protocolos de medición fueron físicamente muy demandantes, 7 de los sujetos tuvieron que discontinuar el estudio durante el período experimental de entrenamiento, principalmente debido a dolores inducidos por el entrenamiento en las rodillas y la espalda. Ninguno de los sujetos estaba tomando medicación, lo cual hubiera sido esperado que afectara el rendimiento físico. Cada sujeto fue informado acerca de los riesgos e incomodidades potenciales asociadas con la investigación, y todos los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el estudio. El Comité de Ética de la Universidad de Jyväskylä aprobó el estudio.

Diseño Experimental

Sesión de Familiarización

Los sujetos se familiarizaron con los procedimientos experimentales de evaluación durante un día de control aproximadamente 1 semana antes de las verdaderas mediciones. También fueron determinadas las verificaciones de carga para los ejercicios experimentales prensa de piernas y sentadilla. Durante el día de control, fueron obtenidas 3 muestras sanguíneas de cada sujeto. Una muestra sanguínea fue tomada en la mañana después de 12 horas de ayuno y aproximadamente 8 horas de sueño para la determinación de las concentraciones basales de hormonas séricas. También fueron tomadas dos muestras sanguíneas en un lapso de media hora en donde no se realizó ejercicio en la misma hora del día en que cada sujeto realizaría luego su protocolo de carga intenso.

Respuesta Aguda al Ejercicio de Sobrecarga

El diseño experimental comprendió 2 sesiones de carga intensa dentro de 1 semana; (a) baja intensidad con períodos de descanso cortos entre las series (SR) y (b) mayor intensidad con períodos de descanso prolongados entre las series (LR) antes del período experimental de entrenamiento de la fuerza, así como después de 3 meses y 6 meses de entrenamiento de la fuerza en la misma hora del día para el estudio de las respuestas hormonales y neuromusculares agudas (Figura 1). La primera de las sesiones de sobrecarga (SR) constituyó un tipo de ejercicio de sobrecarga tradicional e incluyó 5 series de prensa de piernas (David 210, David Fitness and Medical Ltd, Vantaa, Finlandia; a partir de un ángulo de la rodilla de 60-180°= rodilla extendida) y 4 series de sentadilla en una máquina Smith (a partir de un ángulo de la rodilla de 70-180°= rodilla extendida) con una recuperación de 2 minutos entre las series y de 4 minutos entre los ejercicios. El ángulo de la rodilla de la sentadilla fue controlado por un goniómetro electrónico con una señal de sonido.

La segunda sesión de sobrecarga (LR) constituyó un tipo de ejercicio de sobrecarga de alta intensidad. El protocolo de sobrecarga fue el mismo que en la primera sesión, pero las 4 series de prensa de piernas y 3 series de sentadilla fueron hechas con 5 minutos de recuperación entre las series y 4 minutos entre los ejercicios. Las cargas en todas las series fueron aproximadamente 15% mayores que en la primera sesión de sobrecarga. Todas las series en ambos protocolos fueron realizadas con la máxima carga posible para 10RM. Las cargas fueron ajustadas durante el transcurso de la sesión

debido a la fatiga de modo que cada sujeto fuera capaz de realizar 10 repeticiones en cada serie. En la carga LR, cuando fue necesario, el sujeto fue asistido ligeramente durante las últimas pocas repeticiones de la serie para completar la serie de 10 repeticiones. Las cargas fueron diseñadas para ser lo más similar posible a las usadas durante los períodos experimentales de entrenamiento y similares a las usadas en el entrenamiento de la fuerza normal de atletas de fuerza experimentados para lograr ganancias en la fuerza y masa muscular. Las cargas fueron planeadas para que sean comparables de modo que el volumen total, representado por la multiplicación de la carga, las series, y las repeticiones en ambos protocolos fueran los más idénticas posibles (14). Así, el número de series fue más bajo y la intensidad del ejercicio (i.e., cargas) fue mayor en la carga LR.

Entrenamiento de la Fuerza

La duración total del presente período de entrenamiento fue de 6 meses, el cual comprometió 2 tipos diferentes de períodos de entrenamiento de 3 meses en un orden aleatorio (Figura 1). Después de las mediciones en el mes 0, los sujetos fueron aleatoriamente divididos en 2 grupos de entrenamiento. No fueron observadas diferencias significativas en las características antropométricas, fuerza isométrica máxima y fuerza dinámica de extensión de piernas, o área de sección transversal (CSA) del cuádriceps femoral entre los grupos experimentales de entrenamiento. El grupo I (n=5) entrenó en el primer período de entrenamiento de 3 meses con pausas cortas entre las series (2 minutos) y múltiples series (i.e., entrenamiento de la fuerza tradicional) seguido de un período experimental de entrenamiento de la fuerza con pausas más prolongadas entre las series (5 minutos) y menos series (i.e., entrenamiento de la fuerza de alta intensidad). De este modo, el primer período de entrenamiento fue llamado de alta intensidad con períodos de descanso más cortos entre las series de entrenamiento (entrenamiento SR) y el segundo período de entrenamiento fue llamado de alta intensidad con períodos de entrenamiento más prolongados entre las series de entrenamiento (entrenamiento LR). El grupo II (n=8) realizó los períodos de entrenamiento experimental usando el orden opuesto. Los protocolos de entrenamiento de la fuerza que los sujetos realizaron durante los períodos experimentales de entrenamiento fueron similares a los protocolos de carga usados en las sesiones de sobrecarga intensas en el laboratorio.

Durante el presente período experimental de 6 meses, los sujetos continuaron su entrenamiento individualmente como habían hecho previamente. Los sujetos tenían varios años (6.6 ± 2.8) de experiencia en entrenamiento de la fuerza y su propósito principal en su entrenamiento de la fuerza era ganar fuerza máxima y masa muscular. De este modo, los protocolos de ejercicio de los sujetos antes del período experimental de entrenamiento habían sido similares a lo usados en el presente entrenamiento de la fuerza del estudio. De este modo, ellos no necesitaban hacer cambios drásticos en los programas de entrenamiento que habían usado previamente. La principal intervención a sus entrenamientos fue el cambio y control de la duración de los períodos de descanso entre las series. Las sesiones de entrenamiento de la fuerza fueron llevadas a cabo aproximadamente 4 veces por semana. Fueron entrenadas diferentes partes del cuerpo en diferentes días de entrenamiento con ejercicios y series múltiples con 8-12 repeticiones por serie. La carga de entrenamiento de los ejercicios fue progresivamente incrementada tratando de incrementar la carga en cada sesión de ejercicio. Los ejercicios para los extensores de las piernas fueron llevados a cabo una vez por semana y de manera característica incluyeron los ejercicios de sentadilla, prensa de piernas y extensión de rodillas. Los sujetos realizaron su entrenamiento de la fuerza para cada grupo muscular con el mismo protocolo de entrenamiento de acuerdo al período de entrenamiento. El entrenamiento realizado por los sujetos fue controlado por diarios de entrenamiento, y especialmente el entrenamiento para las piernas fue supervisado en parte.

Mediciones Electromiográficas y de Fuerza Muscular

Fue usado un dinamómetro electromecánico para medir la fuerza isométrica voluntaria máxima de la acción de extensión bilateral de las piernas en un ángulo de rodilla de 107° . Un mínimo de 3 pruebas fueron completadas para cada sujeto, y la prueba de mejor rendimiento con respecto a la fuerza máxima pico fue usada para los análisis estadísticos subsiguientes. La señal de fuerza fue registrada en una computadora y luego digitalizada y analizada con un sistema computacional Codas TM (Dataq Instruments, Inc.; Akron, OH). La fuerza máxima pico fue definida como el valor más alto de la fuerza (N) registrado durante la extensión isométrica bilateral de las piernas. La actividad electromiográfica (EMG) fue registrada a partir de los músculos agonistas vasto lateral (VL) y vasto medial (VM) de la pierna derecha durante la acción isométrica máxima. Fueron colocados electrodos de superficie bipolares (electrodos para piel de tamaño miniatura Beckman 650437; Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA) con una distancia interelectrodo de 20 mm fueron colocados longitudinalmente a través del vientre muscular, y las posiciones de los electrodos fueron marcadas en la piel mediante pequeños puntos de tinta para asegurar el mismo posicionamiento del electrodo en cada evaluación durante todo el período experimental (16). Las señales EMG fueron registradas teleméricamente (Glonner Biomes 2000; Glonner Electronic, Munich, Alemania) y almacenadas en una cinta magnética (Recall 16-Thermionic, Hythe, Reino Unido) y en la computadora con el sistema computacional CODAS (Dataq Instruments, Inc.). La señal EMG fue amplificada (por un factor de multiplicación de 200, frecuencia de corte de paso bajo de $360 \text{ Hz } 3 \text{ dB}^{-1}$) y digitalizada a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. La EMG fue rectificadas para la onda completa, integrada (iEMG en MV.s), y normalizada para el tiempo. La actividad EMG del VL y VM fue promediada y analizada en la fase de fuerza máxima (500-1500 milisegundos) de las acciones musculares isométricas

(9).

Fue usado un dinamómetro David 210 (David Fitness y Medical Ltd) para asegurar la producción de fuerza concéntrica unilateral máxima de los extensores de la rodilla (cadera, rodilla y extensores de la rodilla) (17). El sujeto estaba en una posición de sentado de modo que el ángulo de la cadera fuera de 110°. Ante el comando verbal, el sujeto realizaba una extensión concéntrica de la pierna derecha comenzando a partir de una posición de 70°, tratando de alcanzar una extensión completa de 180° contra la carga determinada por los pesos (Kg.) elegidos en los lingotes. En la evaluación de la carga máxima, fueron realizadas contracciones de 1RM separadas. Después de cada repetición, la carga era incrementada hasta que el sujeto no fuera capaz de extender la pierna hasta la posición de extensión completa requerida. La última extensión aceptable con la carga más alta posible fue determinada como 1RM. Esta acción de evaluación dinámica fue usada además de la isométrica debido a que el presente entrenamiento de la fuerza fue también de naturaleza dinámica.

CSA Muscular

La CSA muscular del cuádriceps femoral derecho fue evaluada antes y después del entrenamiento experimental de 21 semanas usando resonancia magnética (MRI) (1.5-Tesla, Gyroscan S15; Philips, Eindhoven, Holanda) en el Keski-Suomen Magneettikuvaus Ltd., Jyväskylä, Finlandia. La longitud del fémur (Lf), tomada como la distancia desde la parte más baja del cóndilo femoral lateral hasta la esquina más baja de la cabeza del fémur, fue medida en un plano coronal. Subsiguientemente, fueron obtenidos 15 scans axiales en el muslo interespaciados por una distancia de 1/15 Lf a partir del nivel de 1/15 Lf hasta 15/15 Lf, como fue previamente descrito (15). Fue tenido mucho cuidado para reproducir la misma longitud individual del fémur cada vez, usando las referencias anatómicas apropiadas. Todas las imágenes MR fueron llevadas a una computadora Macintosh para el cálculo de la CSA muscular. Para cada scan axial, el cálculo de la CSA fue llevada a cabo en el cuádriceps femoral completo y para el cálculo final de la CSA, fueron usadas secciones de 6/15-11/15 (la sección 5 es la más cercana a la articulación de la rodilla en el muslo). La CSA (medida en cm²) fue determinada trazando manualmente a lo largo del borde del cuádriceps femoral. La CSA muscular fue expresada como la media de los valores de 6/15 hasta 11/15 Lf.

Análisis y Recolección de Sangre

Durante la sesión de sobrecarga, las muestras sanguíneas fueron tomadas de la vena antecubital para la determinación de la concentración sérica de testosterona total y libre, cortisol, y hormona del crecimiento antes, inmediatamente después (post) y 15 (post-15 min) y 30 minutos (post-30 min) después de las cargas. Las muestras sanguíneas de la punta de los dedos fueron tomadas para la determinación del lactato sanguíneo. Dos muestras sanguíneas fueron también tomadas dentro de ½ hora sin ejercicio durante el día de control a la misma hora del día que cada sujeto realizaría su protocolo de carga intenso. Las muestras sanguíneas con los sujetos en ayuna fueron obtenidas en intervalos de 3 meses a través de todo el período experimental en las mañanas a la hora 7:30-8:30 hs, antes de las cargas intensas agudas, así como en la primera y segunda mañana después de las cargas para la determinación de las concentraciones séricas de testosterona, testosterona libre, y cortisol en condición basal.

Las muestras séricas para el análisis hormonal fueron mantenidas congeladas a -20 °C hasta los análisis. Las concentraciones de testosterona sérica fueron medidas mediante el sistema de quimioluminiscencia automático Chiron Diagnostics ACS: 180 usando un analizador ACS: 180 (Medfield, MA). La sensibilidad del análisis de testosterona fue de 0.42 nmol.L⁻¹, y el coeficiente de variación intraanálisis fue 6.7%. Las concentraciones séricas de testosterona libre fueron medidas mediante radioinmunoensayo usando kits de Diagnostic Products Corp. (Los Angeles, CA). La sensibilidad del análisis de testosterona libre fue 0.52 pmol.L⁻¹, y el coeficiente de variación intraanálisis fue 3.8%. Los análisis de cortisol sérico fueron llevados a cabo mediante radioinmunoensayo usando kits de Farnos Diagnostica (Turku, Finlandia). La sensibilidad del análisis de cortisol fue de 0.05 nmol. L⁻¹ y el coeficiente de variación intraanálisis fue de 4.0%. Las concentraciones de hormona del crecimiento fueron medidas usando kits de radioinmunoensayo de Pharmacia Diagnostics (Uppsala, Suecia). La sensibilidad del análisis de GH fue 0.2 µg. L⁻¹, y el coeficiente de variación intraanálisis fue de 2.5-5%. Todos los análisis fueron llevados a cabo de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes. Todas las muestras para cada sujeto evaluado fueron analizadas en el mismo análisis para cada hormona. Las concentraciones de lactato sanguíneo fueron determinadas usando un kit de Lactato (Roche, Mannheim, Alemania).

Antropometría

El porcentaje de grasa corporal fue estimado midiendo el grosor de los pliegues cutáneos en cuatro sitios diferentes de acuerdo a Durnin y Rahaman (3).

Análisis Dietario

La ingesta dietaria fue obtenida a partir del diario de alimentos y fue analizada (Nutrica 3.11; Kansaneläkelaitos, Helsinki, Finlandia) durante un período de 3 días antes de las sesiones de carga intensas. Los sujetos fueron alentados para ingerir

dietas similares, lo cual resultó en ingestas calóricas y de nutrientes similares a través de todo el período experimental de entrenamiento.

Análisis Estadísticos

Fueron usados métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias, desvío estándar, error estándar, y coeficientes de correlación momento producto de Pearson. Los cambios en las variables a través del tiempo a partir del prenivel fueron analizados usando análisis de varianza de modelo lineal general (GLM) con mediciones repetidas. Las diferencias entre los grupos experimentales en cada punto de tiempo fueron analizadas utilizando muestras independientes de test t y dentro de cada grupo experimental con muestras dependientes de test t. El criterio de $p \leq 0.05$ fue usado para establecer significancia estadística.

RESULTADOS

Cargas Intensas

Respuestas Neuromusculares y de las Cargas

Los volúmenes totales de trabajo (carga x series x repeticiones) fueron $7.5 \pm 3.5\%$ ($p < 0.001$) mayores en el grupo SR (12335 ± 1770 Kg.) que en el grupo LR (11362 ± 1459 Kg.) en el mes 0 (Figura 2) y se incrementaron hasta 15500 ± 2141 Kg. ($p < 0.01$) y 14317 ± 1736 Kg. ($p < 0.01$) en los grupos SR y LR, después de los 6 meses de entrenamiento de la fuerza, respectivamente. Las cargas en las series de prensa de piernas fueron 14% ($p < 0.001$) y en las series de sentadilla 30% ($p < 0.001$) mayor en el grupo LR que en el grupo SR en el mes 0. Los sujetos necesitaron ayuda en el 3.2% (199 de 6240) de todas las repeticiones realizadas durante la sobrecarga LR en las sesiones de sobrecarga en el mes 0, 3 y 6.

No fueron observadas diferencias estadísticamente significativas en la fuerza isométrica máxima bilateral de extensión de piernas entre las sesiones de sobrecarga SR y LR en las mediciones en los meses 0, 3, y 6. Ocurrieron grandes disminuciones agudas de 36% (desde 3242 ± 566 N hasta 1888 ± 445 N, $p < 0.001$) y 35% (desde 3188 ± 809 N hasta 1674 ± 380 N, $p < 0.001$) en la fuerza isométrica máxima en el mes 0 después de las cargas SR y LR, respectivamente (Figura 3). Las disminuciones relativas de la fuerza isométrica máxima después de las cargas permanecieron iguales durante el período de entrenamiento de 6 meses. La fuerza isométrica máxima se recuperó, pero permaneció disminuida durante el período de recuperación de 48 horas después de ambos protocolos de sobrecarga. La actividad EMG de los músculos VL y VM durante la acción isométrica disminuyó en un $13 \pm 14\%$ ($p < 0.05$) y $17 \pm 24\%$ ($p < 0.05$) después de los protocolos de carga SR y LR, respectivamente, sin ninguna diferencia entre los protocolos. Las disminuciones relativas también permanecieron iguales durante las cargas en el mes 6. Las concentraciones de lactato sanguíneo se incrementaron hasta 12.8 ± 3.1 mmol.L⁻¹ ($p < 0.001$) después de ambos protocolos de carga, sin ninguna diferencia significativa entre las cargas en los meses 0 (Figura 4). Esto también ocurrió en el mes 6.

Respuestas Hormonales Agudas

No fueron observados cambios significativos en las concentraciones séricas de hormonas entre las dos muestras sanguíneas de control tomadas en un lapso de media hora sin la realización de ejercicio durante el día de control. Las concentraciones séricas de GH, testosterona, testosterona libre, y cortisol se incrementaron ($p < 0.05-0.001$) después de las cargas, tanto antes como después del período experimental de entrenamiento, excepto para las concentraciones de testosterona en la sobrecarga LR en el mes 6 (Figuras 5-8). No fueron observadas diferencias estadísticamente significativas en las respuestas hormonales agudas entre las sesiones de sobrecarga en las mediciones en los meses 0, 3, y 6. Los cambios relativos en el área integrada bajo el análisis de la curva (AUC) en las respuestas agudas de la testosterona y testosterona libre en la sobrecarga SR durante el primer período de entrenamiento de 3 meses y los cambios en la CSA muscular del cuádriceps femoral correlacionaron ($r = 0.63$, $p < 0.05$ y 0.74 , $p < 0.01$, respectivamente) en el grupo total de sujetos. Fue observada una tendencia hacia respuestas hormonales atenuadas independientemente del tipo de entrenamiento durante el período experimental de entrenamiento de 6 meses, especialmente en el protocolo LR. No hubo cambios estadísticamente significativos en las concentraciones basales de testosterona total, testosterona libre, o cortisol en la primera y segunda mañana después de los protocolos de sobrecarga o entre los protocolos de sobrecarga en los meses 0 y 6, excepto para la testosterona, y en la segunda mañana después de la sobrecarga SR en el mes 6 (Tabla 1).

Mediciones de Seguimiento

Antropometría

No hubo cambios significativos en la masa corporal (desde 83.9 ± 11.7 Kg. hasta 84.6 ± 12.9) o en el porcentaje de grasa corporal (desde $14.8 \pm 3.9\%$ hasta $15.3 \pm 3.6\%$) durante el período experimental de entrenamiento de 6 meses en el grupo total de sujetos.

Entrenamiento de Sobrecarga

El entrenamiento de los músculos cuádriceps femoral incluyó los ejercicios de sentadilla, prensa de piernas, y/o extensión de piernas. Seis de los 13 sujetos realizaron el diario de entrenamiento a través de todo el período experimental de entrenamiento de 6 meses. No hubo diferencias estadísticamente significativas en la carga total de entrenamiento (7065 ± 2180 Kg. y 7043 ± 2208 Kg.) para el cuádriceps femoral por ejercicio entre los períodos de entrenamiento SR y LR, respectivamente.

Fuerza Isométrica Máxima Bilateral de Extensión de Piernas

Durante el período de entrenamiento de 6 meses, fue registrado un incremento significativo de $6.8 \pm 8.7\%$ (desde 3370 ± 748 hasta 3613 ± 949 N) ($p < 0.05$) en la fuerza isométrica máxima de extensión de piernas en el grupo total de sujetos (Figura 9). Durante el período de entrenamiento SR de 3 meses, la fuerza isométrica máxima se incrementó en un $2.0 \pm 10.9\%$ (no significativo) y durante el período de entrenamiento LR de 3 meses en un $5.8 \pm 8.0\%$ ($p < 0.05$), sin ninguna diferencia significativa entre los protocolos de entrenamiento.

1RM en la Extensión Unilateral de la Pierna Derecha

Durante el período de entrenamiento de 6 meses, ocurrió un incremento significativo de $16.4 \pm 13.3\%$ (desde 108.5 ± 14.8 hasta 125.4 ± 16.0 Kg.) ($p < 0.01$) en la carga de 1RM en el grupo total de sujetos (Figura 10). Durante el período de entrenamiento SR de 3 meses, la fuerza isométrica máxima se incrementó desde $8.4 \pm 13.9\%$ ($p < 0.05$) y durante el LR en un $7.7 \pm 6.4\%$ ($p < 0.001$), sin ninguna diferencia significativa entre los protocolos de entrenamiento.

CSA Muscular

La CSA del cuádriceps femoral (media de 6/15 hasta 11/15) se incrementó un $3.5 \pm 4.3\%$ (desde 9139 ± 1238 hasta 9448 ± 1257 mm²) ($p < 0.05$) durante el período experimental de entrenamiento de 6 meses en el grupo total de sujetos (Figura 11). La CSA muscular se incrementó en un $1.8 \pm 4.7\%$ (no significativo) y $1.8 \pm 3.6\%$ (no significativo) durante los períodos de entrenamiento SR y LR de 3 meses, respectivamente. Los cambios relativos en la fuerza isométrica máxima y los cambios relativos en la CSA muscular correlacionaron uno con el otro ($r = 0.69$, $p < 0.05$) durante el período experimental de entrenamiento de 6 meses en el grupo total de sujetos.

Concentraciones Hormonales Basales

No fueron observados cambios estadísticamente significativos en las concentraciones séricas basales de testosterona, testosterona libre, o cortisol o en el índice testosterona/cortisol durante el período experimental de entrenamiento de la fuerza de 6 meses (Tabla 2).

Análisis Dietario

No fueron observados cambios estadísticamente significativos en el consumo total de energía o en la ingesta de macronutrientes durante el período experimental de entrenamiento (Tabla 3). Los cambios relativos en el consumo total de energía y los cambios relativos en el área transversal del cuádriceps femoral correlacionaron ($r = 0.65$, $p < 0.05$) durante el período de entrenamiento de la fuerza de 6 meses en el grupo total de sujetos.

Mes	Mañana del Día de Control (-1 semana)	Protocolo	Primera Mañana después de la Sobrecarga	Segunda Mañana después de la Sobrecarga
0				
Testosterona (nmol.L ⁻¹)	23.9±9.7	SR	23.8±9.4	21.4±7.9
		LR	23.5±8.4	22.9±8.8
Testosterona Libre (pmol. L ⁻¹)	74.8±21.7	SR	80.5±25.4	73.0±27.5
		LR	71.7±21.1	70.7±25.6
Cortisol (µmol. L ⁻¹)	0.51±0.16	SR	0.44±0.21	0.41±0.21
		LR	0.44±0.17	0.45±0.18
6				
Testosterona (nmol. L ⁻¹)	22.0±8.9	SR	23.4±7.1	25.4±7.5 *
		LR	24.3±7.5	26.4±7.1
Testosterona Libre (pmol. L ⁻¹)	68.8±24.6	SR	70.6±21.5	70.0±23.7
		LR	64.6±18.4	71.6±24.3
Cortisol (µmol. L ⁻¹)	0.55±0.19	SR	0.50±0.12	0.50±0.11
		LR	0.46±0.12	0.52±0.14

Tabla 1. Concentraciones hormonales basales (media±DS) en la primera y segunda mañana después de la sobrecarga en los meses 0 y 6. * Significativamente diferente ($p<0.05$) con respecto al valor de la mañana del día de control. (SR=pausa corta; LR=pausa prolongada).

	Mes		
	0	3	6
Testosterona (nmol.L ⁻¹)	23.9±9.7	27.3±8.2	22.9±8.8
Testosterona libre (pmol.L ⁻¹)	74.8±21.7	81.3±20.9	69.3±23.3
Cortisol (µmol.L ⁻¹)	0.51±0.16	0.54±0.21	0.54±0.18

Tabla 2. Concentraciones hormonales basales (media±DS) durante el período experimental de entrenamiento de 6 meses.

	Mes		
	0	3	6
Energía Total (kJ)	10551±2012	11100±2226	10010±1728
Proteína (%)	21±7	22±8	22±8
Grasa (%)	28±9	26±5	27±7
Carbohidratos (%)	50±12	51±7	48±8
Ingesta Proteica/Peso Corporal (g.Kg.-1)	1.6±0.7	1.8±0.7	1.7±0.8
Ingesta de Carbohidratos/Peso Corporal (g.Kg.-1)	3.7±0.6	3.8±0.9	3.5±1.1

Tabla 3. Energía total e ingesta de macronutrientes por día (media de 3 días antes de la sesión de sobrecarga de pausa corta) durante el período experimental de entrenamiento (n=12).

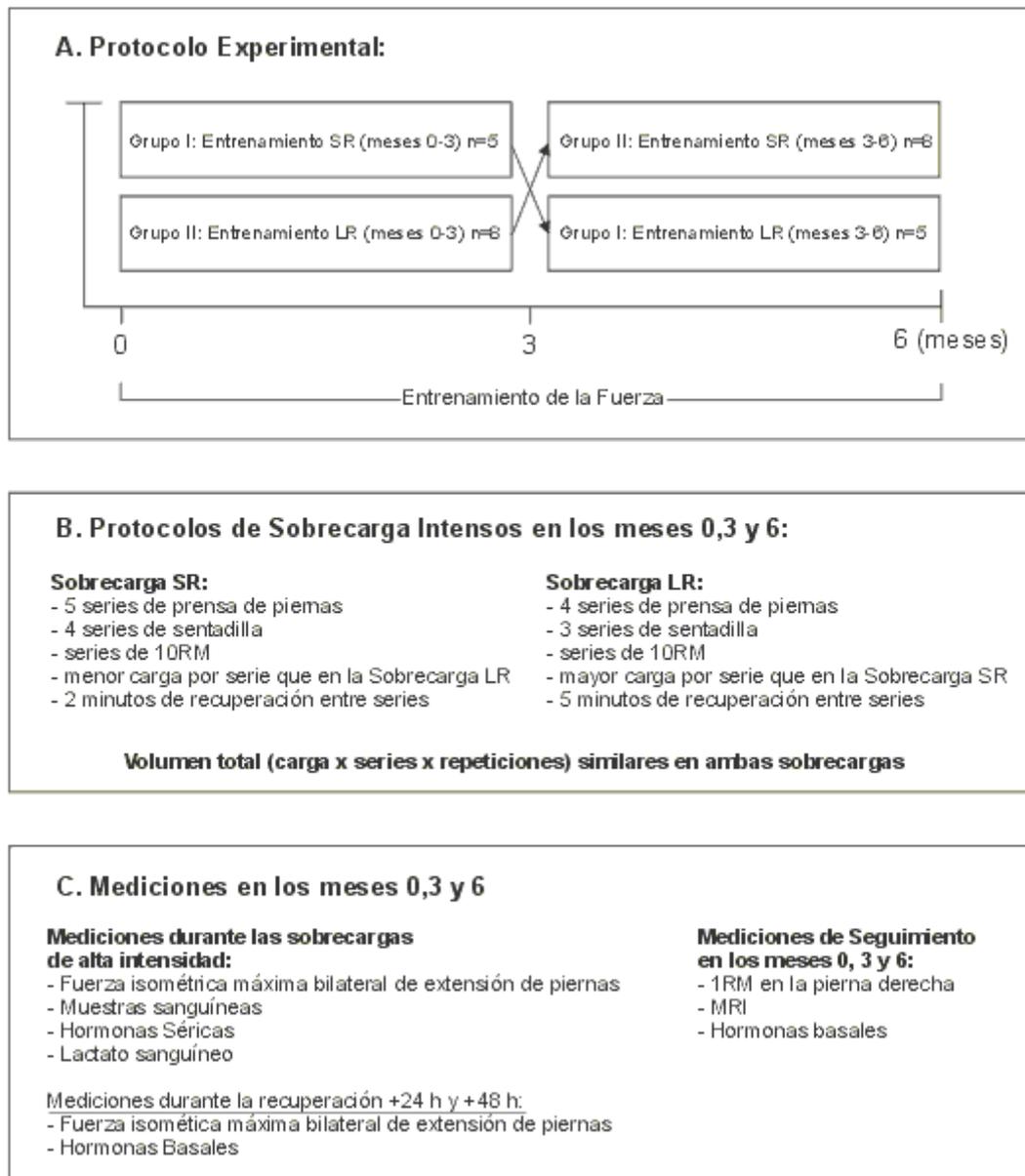


Figura 1. Diseño experimental del estudio (A), protocolos de sobrecarga intensos (B) y mediciones durante los protocolos de sobrecarga y durante el período experimental de entrenamiento (C).

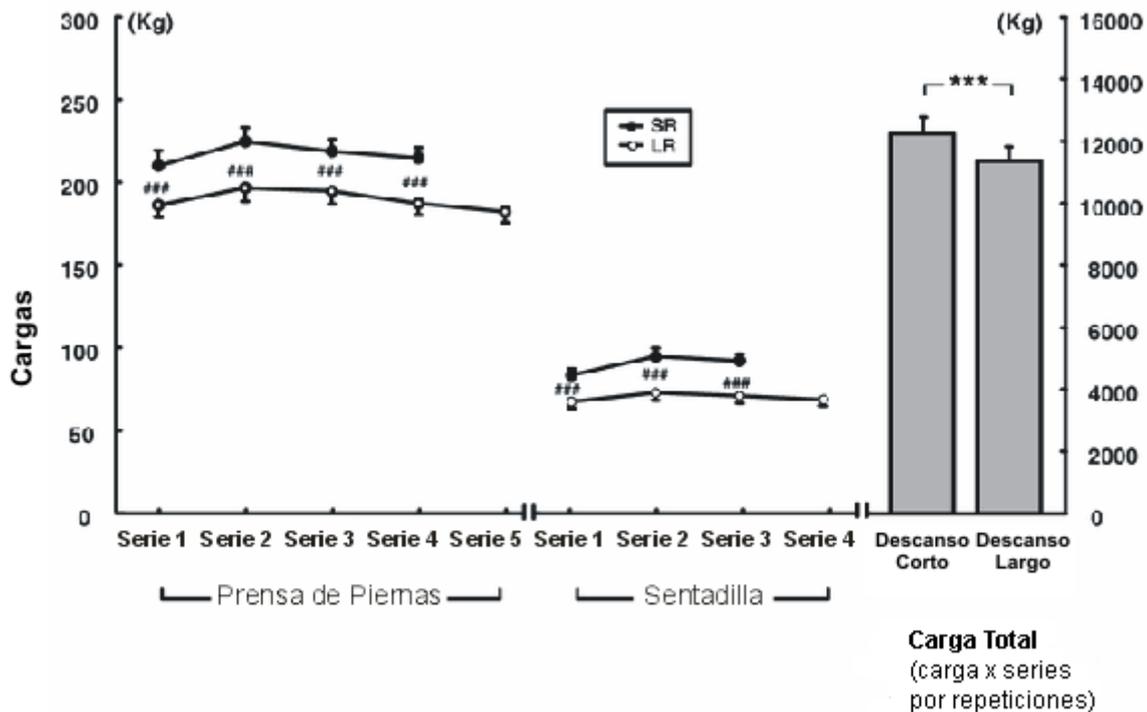


Figura 2. Cargas en la pausa corta (SR) y la pausa prolongada (LR) (media±DS) en el grupo 1 + 2 antes del período experimental de entrenamiento de 6 meses. * Significativamente diferente (*=p<0.05, **=p<0.01) con respecto al valor de la serie 2 de cada ejercicio. #= diferencia estadísticamente significativa (###=p<0.001) entre las sobrecargas SR y LR.

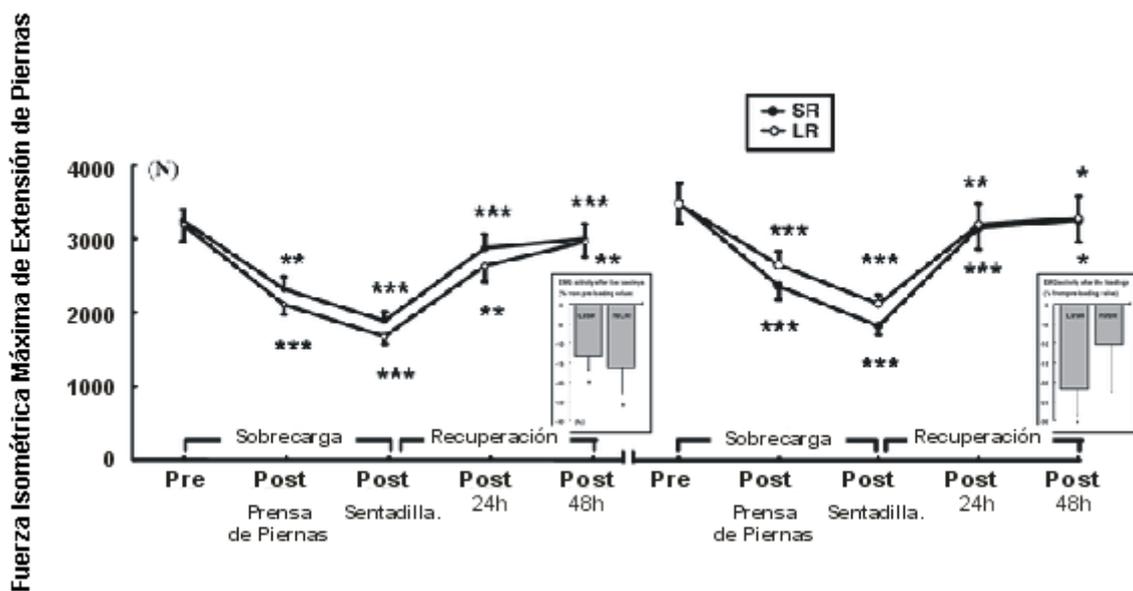


Figura 3. Fuerza isométrica máxima voluntaria (media±DS) antes, durante, y después de las sobrecargas con pausa corta (SR) y pausa larga (LR), antes del período experimental de entrenamiento. En la figura interior, actividad electromiográfica integrada máxima (media±DS) durante la acción muscular isométrica después de las sobrecargas SR y LR (porcentaje del valor presobrecarga).

* Significativamente diferente (*= $p<0.05$; **= $p<0.01$; ***= $p<0.001$) con respecto al valor preejercicio correspondiente.

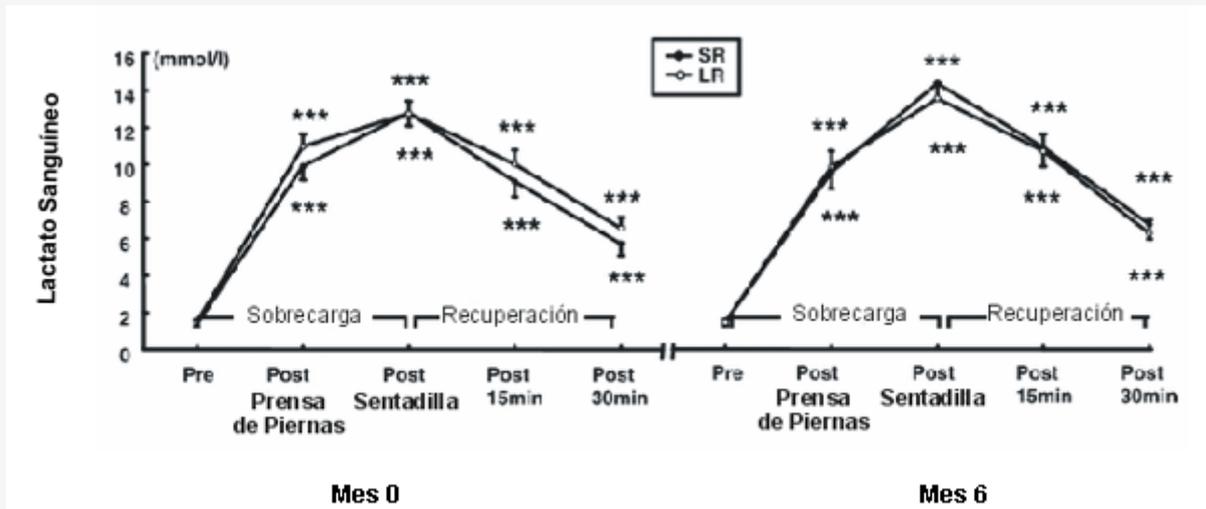


Figura 4. Concentraciones de lactato sanguíneo (media±DS) antes, durante y después de las sobrecargas de pausa corta (SR) y pausa prolongada (LR) antes del período experimental de entrenamiento. * Significativamente diferente (**= $p<0.01$, ***= $p<0.001$) con respecto al valor preejercicio

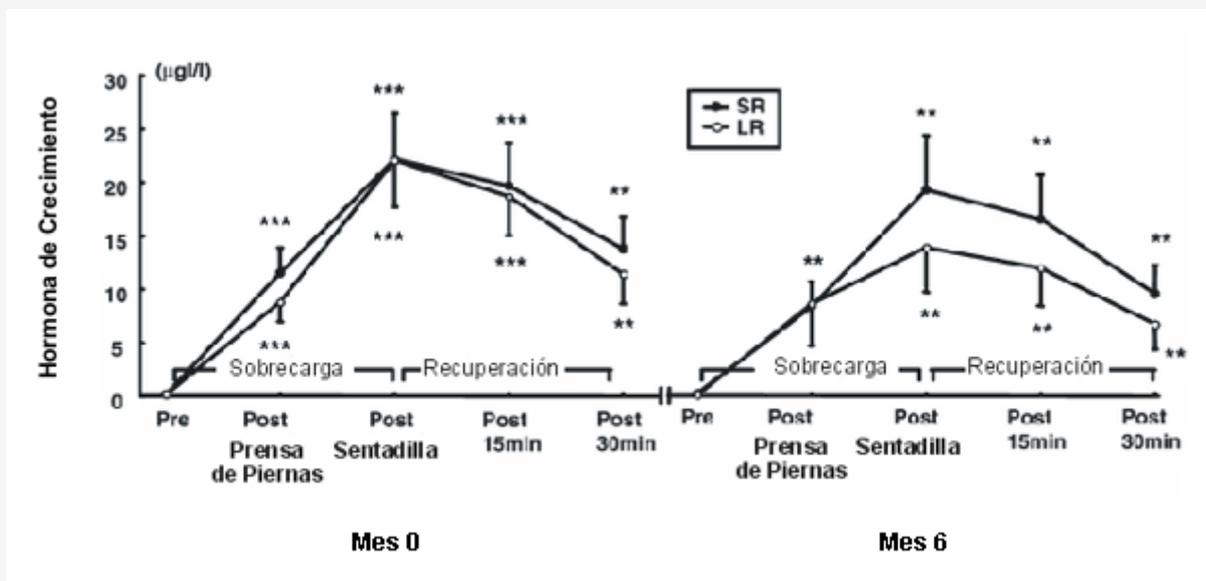


Figura 5. Concentraciones séricas de hormona del crecimiento (media±DS) antes, durante y después de las sobrecargas intensas agudas de pausa corta (SR) y pausa prolongada (LR), antes y después del período experimental de entrenamiento de 6 meses. * Significativamente diferente (**= $p<0.01$, ***= $p<0.001$) con respecto al valor preejercicio correspondiente.

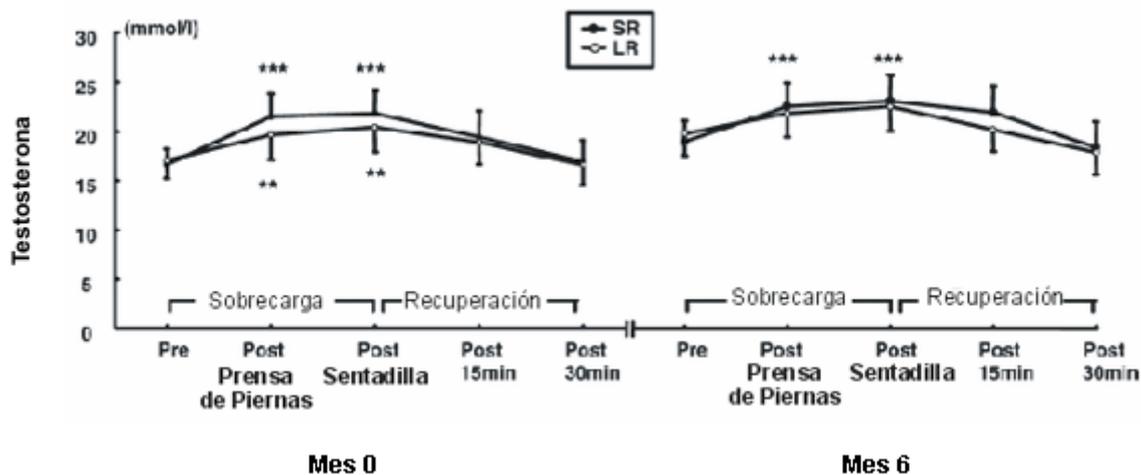


Figura 6. Concentraciones séricas de testosterona (media±DS) antes, durante y después de de las sobrecargas intensas agudas de pausa corta (SR) y pausa prolongada (LR), antes y después del período experimental de entrenamiento de 6 meses. * = Significativamente diferente (**=p<0.01, ***=p<0.001) con respecto al valor preejercicio correspondiente.

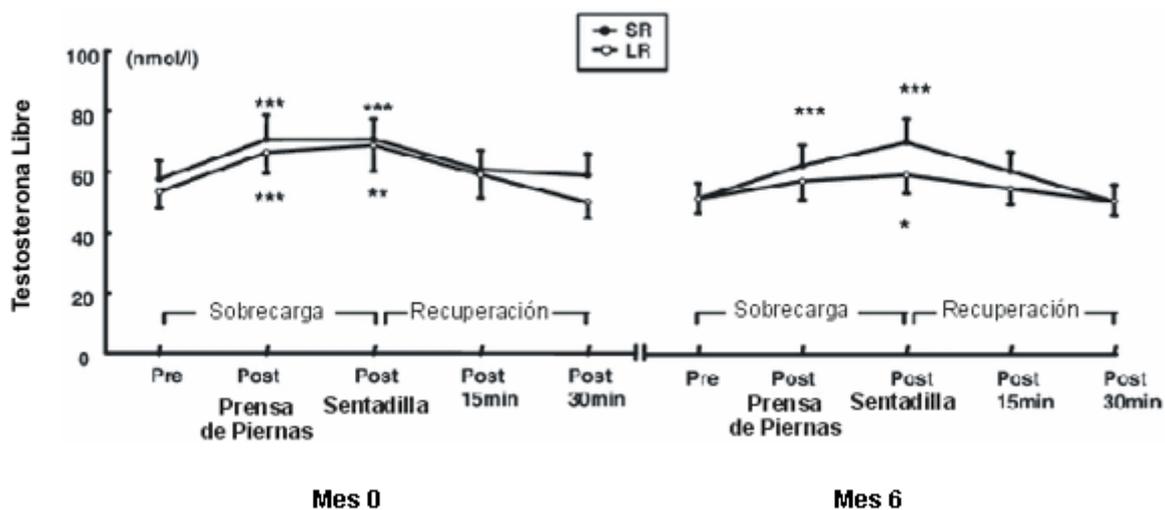


Figura 7. Concentraciones séricas de testosterona libre (media±DS) antes, durante y después de de las sobrecargas intensas agudas de pausa corta (SR) y pausa prolongada (LR), antes y después del período experimental de entrenamiento de 6 meses. * = Significativamente diferente (**=p<0.01, ***=p<0.001) con respecto al valor preejercicio correspondiente.

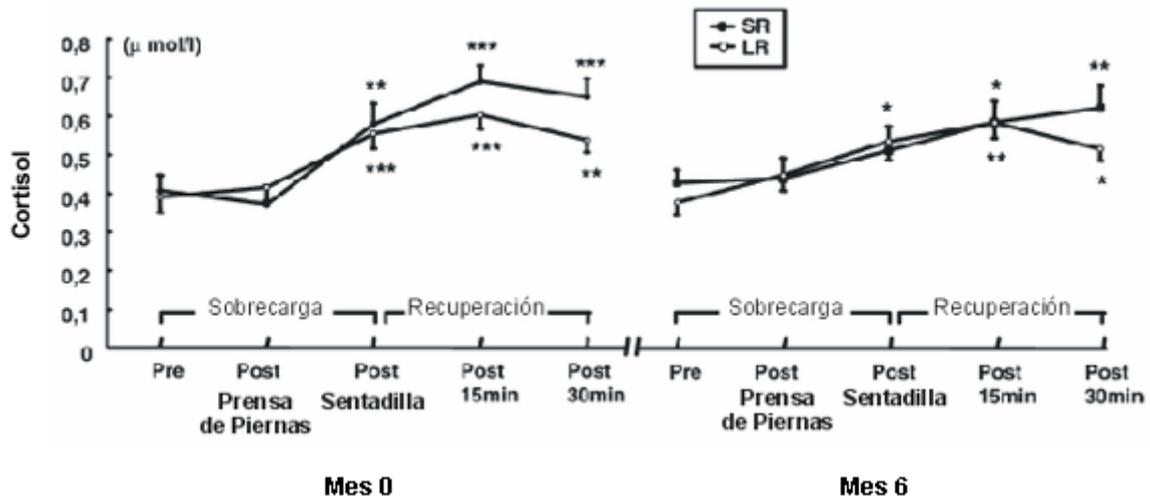


Figura 8. Concentraciones séricas de cortisol (media±DS) antes, durante y después de de las sobrecargas intensas agudas de pausa corta (SR) y pausa prolongada (LR), antes y después del período experimental de entrenamiento de 6 meses. *=Significativamente diferente (**=p<0.01, ***=p<0.001) con respecto al valor preejercicio correspondiente.

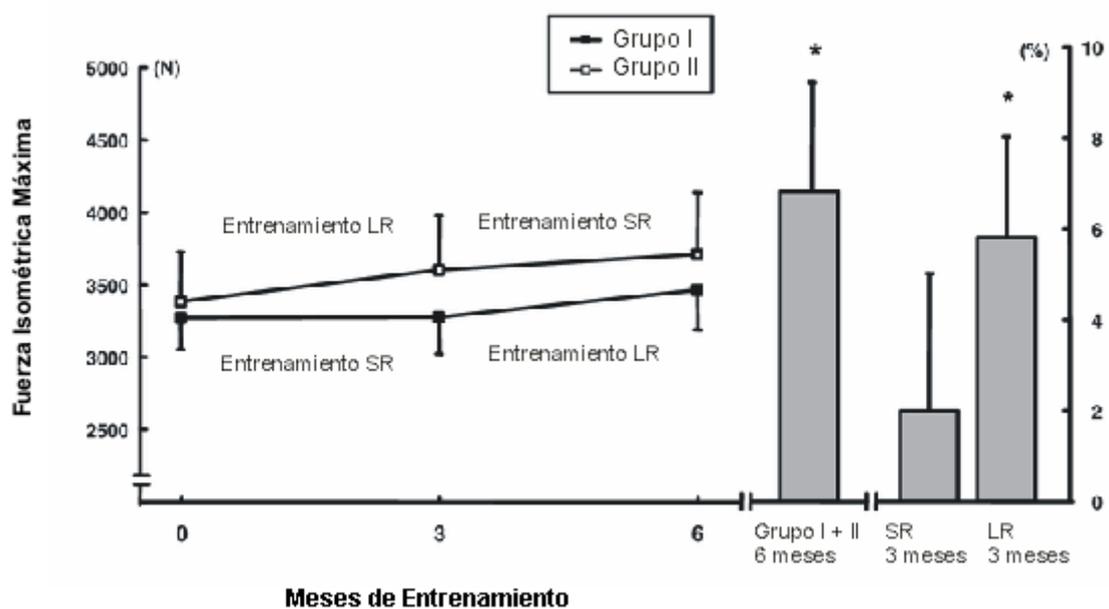


Figura 9. Cambios (media±DS) en la fuerza isométrica máxima durante el período experimental de entrenamiento de la fuerza de 6 meses en ambos grupos y cambios relativos (media±DS) después de los períodos de entrenamiento con pausa corta (SR) y pausa prolongada. *=significativamente diferente (*=p<0.05) con respecto al valor preentrenamiento correspondiente.

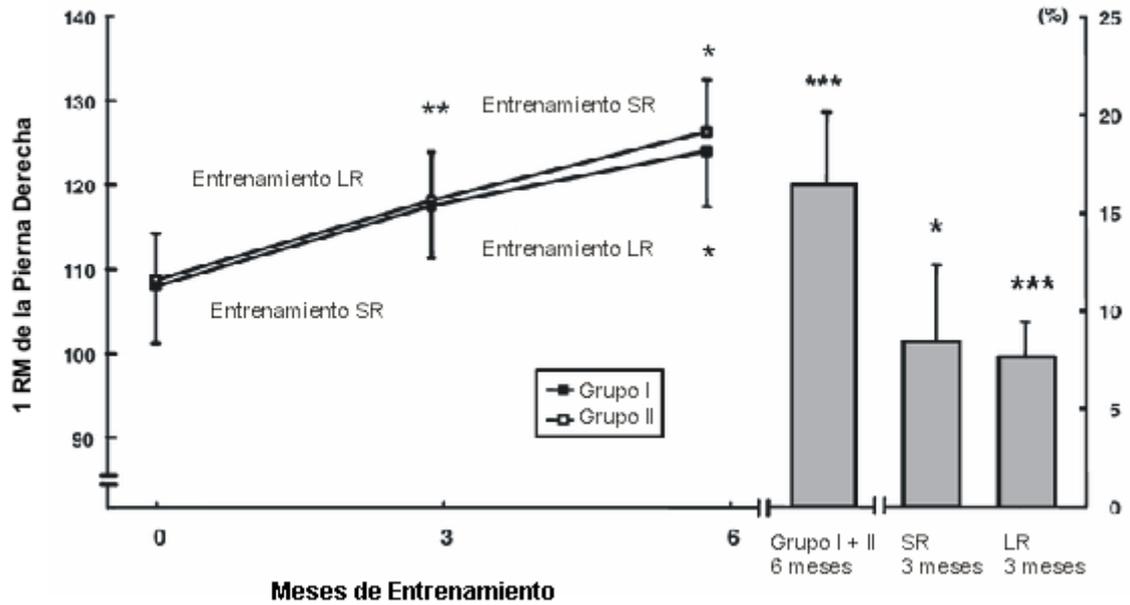


Figura 10. Cambios (media±DS) en la 1RM de la pierna derecha durante el período experimental de entrenamiento de la fuerza de 6 meses en ambos grupos y cambios relativos (media±DS) después de los períodos de entrenamiento con pausa corta (SR) y pausa prolongada. *=significativamente diferente (*= $p < 0.05$; **= $p < 0.01$; ***= $p < 0.001$) con respecto al valor preentrenamiento correspondiente.

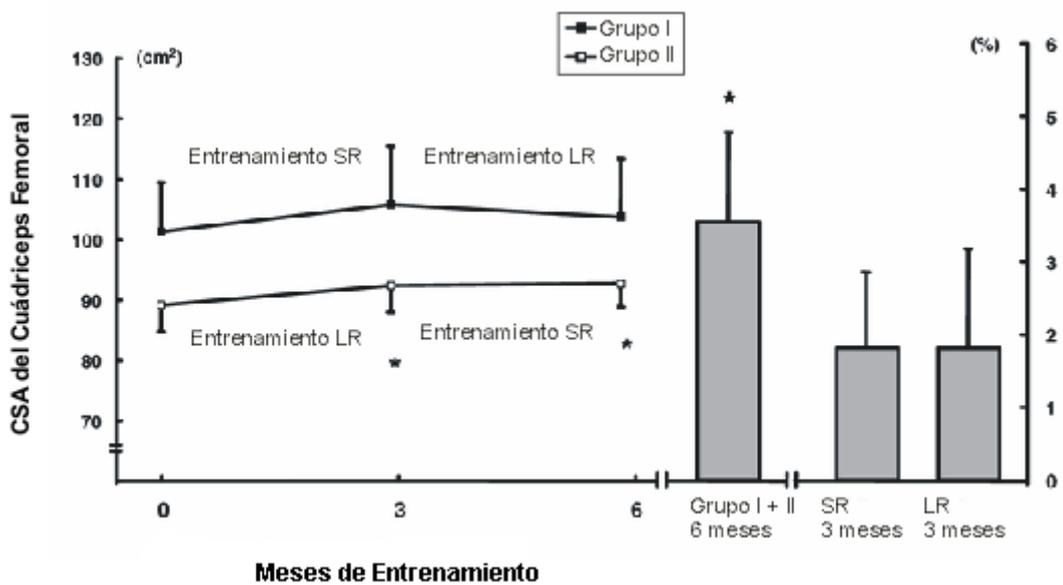


Figura 11. Cambios (media±DS) en el área de sección transversal del cuádriceps femoral durante el período experimental de entrenamiento de la fuerza de 6 meses en ambos grupos y cambios relativos (media±DS) después de los períodos de entrenamiento con pausa corta (SR) y pausa prolongada. *=significativamente diferente (*= $p < 0.05$) con respecto al valor preentrenamiento correspondiente.

DISCUSION

El ejercicio de fuerza intenso hipertrófico es conocido por inducir las mayores respuestas hormonales agudas cuando es realizado con múltiples series por ejercicio (e.g., 3-5 series) con períodos de descanso cortos (e.g., 60-120 segundos) entre las series y con un moderadamente alto número (e.g., 8-12 RM) de repeticiones por serie (e.g., 12, 19, 20). Algunos datos anteriores también sugirieron que la magnitud y/o la duración de las respuestas hormonales agudas podrían tener relación con las ganancias en la masa muscular o la fuerza durante el entrenamiento de sobrecarga (1, 15, 18). El rol de las respuestas hormonales agudas se vuelve importante debido a que las hormonas anabólicas, e.g., testosterona (4) y hormona del crecimiento (7) incrementan la síntesis proteica en las células musculares. De este modo, la estimulación del sistema endocrino inducida por el ejercicio puede ser un disparador de los procesos de adaptación en las células del músculo esquelético, conduciendo a incrementos de las proteínas contráctiles. El ejercicio de sobrecarga intenso también induce respuestas neuromusculares agudas observadas como disminuciones temporarias en la producción de fuerza máxima y actividad EMG de los músculos sobrecargados asociadas con incrementos en las concentraciones de lactato sanguíneo. Las disminuciones agudas en la fuerza isométrica máxima y la actividad EMG fueron bastante similares en magnitud después del ejercicio de sobrecarga hipertrófico realizado con el protocolo de 10RM para 10 series (10) en comparación con la respectiva disminución aguda después del protocolo de alta sobrecarga neural de 1RM para 20 series (12). Sin embargo las respuestas hormonales agudas (e.g., GH) fueron drásticamente mayores después del protocolo de sobrecarga de 10RM con solo respuestas hormonales mínimas observadas después del protocolo de 1RM. De este modo, los datos de estos estudios anteriores sugieren que el modo de entrenamiento parece tener una influencia crítica en la magnitud y/o duración de las respuestas hormonales agudas. En el presente estudio, hombres jóvenes recreacionalmente entrenados en fuerza realizaron dos protocolos de entrenamiento de fuerza hipertróficos típicos, similares con respecto al volumen total, pero difiriendo en términos de duración de la recuperación entre las series para los músculos de las piernas: una intensidad alta con períodos de descanso cortos entre series (SR), y de algún modo mayor intensidad con períodos de descanso prolongados entre las series (LR). Fue hipotetizado que estos dos protocolos de ejercicio de sobrecarga intensos conducirían a respuestas hormonales agudas significativamente diferentes, debido a las diferentes demandas metabólicas de los ejercicios. Consecuentemente, nosotros hipotetizamos que las adaptaciones a largo plazo al entrenamiento de la fuerza hipertrófico también diferirían en cierto grado cuando se entrenara en el protocolo SR con respecto al protocolo LR. Las presentes cargas fueron diseñadas para ser lo más similares como fuera posible a aquellas usadas en la práctica del entrenamiento de la fuerza entre atletas de fuerza experimentados, como los fisiculturistas, para ganar fuerza y masa muscular. Las sesiones de sobrecarga agudas fueron también planeadas para ser comparables de modo que el volumen total, expresado por la multiplicación de la carga, las series y las repeticiones, en ambos protocolos fuera lo más idéntico posible. Los presentes datos muestran que, como fue planeado, fueron realizadas cargas absolutas significativamente mayores en todas las series durante el protocolo de sobrecarga de alta intensidad antes del período experimental de entrenamiento (Figura 2). Hubo una diferencia estadísticamente significativa, pero solo ligera, de 7% en el volumen total entre las cargas. Aunque esta diferencia puede ser considerada bastante pequeña, no puede ser totalmente excluida, pero esto podría no haber tenido influencias en las respuestas fisiológicas medidas.

Los protocolos de ejercicio realizados en el mes 0 condujeron a disminuciones agudas significativas en la fuerza isométrica máxima sin ninguna diferencia entre los 2 protocolos de sobrecarga (Figura 3). La fuerza isométrica disminuyó a 54 % y 59% con respecto al máximo presobrecarga después de las sobrecargas SR y LR, respectivamente. La fuerza isométrica máxima no se había recuperado completamente después de 2 días de descanso después de las sobrecargas. La actividad EMG de los músculos sobrecargados también disminuyó después de ambos protocolos. Las concentraciones de lactato sanguíneo se incrementaron hasta aproximadamente 13 mmol.L⁻¹ durante ambos protocolos, sin ninguna diferencia significativa entre los protocolos (Figura 4). Los presentes protocolos condujeron a respuestas en el lactato sanguíneo sorprendentemente similares. Los presentes resultados indican que para los hombres jóvenes que tienen experiencia en el entrenamiento de la fuerza, aún los períodos de pausa de 5 minutos entre las series pueden no ser tiempo suficiente para recuperar los grupos musculares grandes entre las series múltiples de 10RM, como los músculos de las piernas. Fuimos capaces de recolectar datos de frecuencia cardiaca a partir de un subgrupo de sujetos (n=9, datos no presentados). Como se esperaba, la frecuencia cardiaca durante los períodos de recuperación entre las series fue significativamente mayor ($p < 0.05-0.001$) en la sobrecarga SR que en la LR, sugiriendo una mayor demanda metabólica en la sobrecarga SR en comparación con la LR.

Contrariamente a nuestra hipótesis, no encontramos diferencias estadísticamente significativas en las respuestas hormonales agudas entre los dos protocolos de sobrecarga antes del período experimental de entrenamiento. Ambos protocolos de sobrecarga condujeron a incrementos agudos significativos en las concentraciones séricas de testosterona total y testosterona libre. Sin embargo, las respuestas agudas de la testosterona fueron muy similares, sin diferencias estadísticamente significativas entre los presentes protocolos de sobrecarga. Ambos protocolos condujeron también a grandes incrementos agudos de similar magnitud en las concentraciones séricas de hormona del crecimiento. Los 2 protocolos de sobrecarga también condujeron a incrementos agudos en las concentraciones séricas de cortisol. Sin

embargo, la respuesta aguda fue ligeramente mayor después de la sobrecarga SR. No obstante, estos resultados indican que no hubo diferencias sistemáticas en las variables fisiológicas medidas entre las sobrecargas SR y LR en el mes 0.

Debido a que no fueron observadas diferencias sistemáticas en las respuestas hormonales o neuromusculares agudas entre los presentes protocolos de sobrecarga hipertróficos, estos resultados indican que un protocolo de baja intensidad con períodos de descanso cortos entre las series parece producir respuestas hormonales agudas similares que un protocolo realizado con una mayor intensidad con períodos de descanso más prolongados entre series, cuando son usadas las series hipertróficas típicas de 10RM. Aunque el presente estudio examinó solo estos dos protocolos, los resultados sugieren que la duración de los períodos de descanso entre las series y el número de series puede no tener una influencia en la respuesta aguda al ejercicio. Esto parece ser de esta forma al menos en los hombres jóvenes entrenados en fuerza, si son realizadas varias series, y si la intensidad de entrenamiento del ejercicio es mantenida alta, como en el presente estudio. En los estudios anteriores de Kraemer et al. (19, 20, 22), las pausas cortas entre las series (1 minuto) provocaron mayores respuestas hormonales anabólicas que los períodos más prolongados entre series (3 minutos). Contrariamente al presente estudio, estos estudios incluyeron a hombres recreacionalmente entrenados en fuerza así como a mujeres y el protocolo experimental de sobrecarga fue llevado a cabo con un total de 24 series de ejercicios para todos los grupos musculares del cuerpo. Es desconocido si los períodos de descanso más cortos entre series (i.e., 60 segundos) producirían diferentes respuestas hormonales agudas en comparación con el protocolo de ejercicio usado en el presente estudio. Sin embargo, los datos del presente estudio indican que diferentes modificaciones de los protocolos hipertróficos con un volumen suficiente y dentro de altos niveles de intensidad, como el protocolo de 10RM, puede conducir a grandes respuestas hormonales y neuromusculares agudas. Podría ser hipotetizado que después de cierto nivel de umbral en el estímulo de entrenamiento hipertrófico, la duración de los períodos de reposo entre series y el número de series no haría una contribución sistemática a la magnitud de las respuestas hormonales y neuromusculares agudas. En la sobrecarga LR, se le daba ayuda al sujeto si no podía completar la serie de 10RM. Esto puede haber influenciado las respuestas hormonales agudas, debido a que el protocolo de repeticiones forzadas puede incrementar las respuestas hormonales agudas (2). Sin embargo, la ayuda fue proporcionada solo ocasionalmente, cuando era necesario, y no sistemáticamente durante el estudio.

La adaptación del cuerpo humano al entrenamiento de la fuerza prolongado ocurre por varios mecanismos neuromusculares y hormonales. Los factores neurales son importantes para los incrementos en la fuerza muscular, especialmente en las fases iniciales del entrenamiento de la fuerza, mientras que los cambios en la masa muscular también contribuyen al desarrollo de la fuerza durante el entrenamiento de la fuerza prolongado (11, 30). Es bien conocido que el incremento progresivo y las modificaciones en la intensidad, volumen y frecuencia del entrenamiento son la única forma de manipular la carga de entrenamiento a través de varios años de entrenamiento de la fuerza para lograr mayores incrementos en la fuerza y masa muscular. Mientras que no es posible incrementar interminablemente el volumen, frecuencia o intensidad del entrenamiento, se vuelven importantes los cambios periódicos en estas variables de entrenamiento, como las usadas, e.g. en la periodización para alcanzar un estímulo de entrenamiento óptimo (6, 32).

Además de estudiar las respuestas hormonales y neuromusculares agudas, el presente estudio fue también diseñado para examinar las adaptaciones hormonales y neuromusculares a largo plazo a dos protocolos de entrenamiento hipertróficos que difirieron principalmente en la intensidad de entrenamiento y en la duración de los períodos de descanso entre series, mientras que el volumen total entre los protocolos de entrenamiento fue lo más similar posible. Las similitudes observadas en las respuestas hormonales y neuromusculares agudas en ambos de nuestros protocolos de ejercicio conducirían a incrementos en la fuerza y masa muscular similares durante el entrenamiento a largo plazo. No puede ser totalmente excluido que los protocolos de entrenamiento anteriores usados por estos sujetos antes del presente estudio pueden haber tenido alguna influencia en las ganancias de masa y fuerza muscular registradas durante el período del estudio. Sin embargo, los sujetos tenían experiencia en el entrenamiento de la fuerza y los presentes períodos de entrenamiento tenían una duración de 3 meses. La fuerza isométrica máxima bilateral de extensión de piernas y la 1RM en la pierna derecha se incrementaron a través de todo el período experimental de entrenamiento de la fuerza de 6 meses, sin ninguna diferencia significativa entre los grupos de entrenamiento 1 y 2 o entre los protocolos de entrenamiento (Figuras 9 y 10). La CSA del cuadriceps femoral se incrementó durante el primer período de entrenamiento de 3 meses, pero no fue observable ningún cambio subsiguiente en la CSA durante el último período de entrenamiento desde el mes 3 al 6. Cuando se compara los períodos de entrenamiento independientemente, el presente estudio no muestra diferencias en los cambios en la fuerza isométrica máxima, 1RM de la pierna derecha o CSA del cuadriceps femoral entre los 2 protocolos de entrenamiento durante los períodos de entrenamiento de 3 meses. Durante el entrenamiento SR, la fuerza isométrica máxima se incrementó solo ligeramente, pero durante el entrenamiento LR, el incremento en la fuerza isométrica máxima fue estadísticamente significativo. Aunque el incremento relativo en la fuerza de 1RM fue de similar magnitud, el incremento en el entrenamiento LR fue más sistemático que el entrenamiento SR. De este modo, los resultados del presente estudio sugieren que el entrenamiento LR puede crear un estímulo de entrenamiento más óptimo para el desarrollo de la fuerza máxima que el entrenamiento SR.

Las respuestas agudas significativas de la testosterona total, testosterona libre, cortisol y hormona del crecimiento fueron observables en ambos protocolos de sobrecarga en los meses 0, 3 y 6 (excepto para la respuesta de la testosterona total en

el mes 6). En general, fue observada una tendencia de respuestas hormonales agudas atenuadas durante el período de entrenamiento de 6 meses. Han sido reportados hallazgos similares, especialmente en las respuestas agudas de la GH y el cortisol, debido a entrenamiento de la fuerza prolongado en hombres jóvenes previamente desentrenados (21, 31) y en atletas de fuerza de sexo masculino (1). En el presente estudio, las respuestas hormonales agudas disminuidas parecieron ser significativamente mayores en el grupo LR que en el grupo SR después del período experimental de entrenamiento de 6 meses. Si es esperado que la magnitud de las respuestas hormonales agudas sea crucial para la adaptación óptima al entrenamiento de la fuerza, los resultados del presente estudio sugieren que el protocolo de ejercicio LR en el entrenamiento a largo plazo puede crear condiciones menos favorables para las ganancias de masa muscular. Sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo de la masa muscular entre los 2 protocolos de entrenamiento.

Interesantemente, en el presente estudio, fueron observadas relaciones significativas entre los incrementos de las respuestas agudas de testosterona y testosterona libre y los incrementos en la CSA muscular del cuádriceps femoral en la sobrecarga SR durante el primer período de entrenamiento de 3 meses cuando ambos grupos experimentales fueron combinados. Nuestros estudios anteriores (1) apoyan este hallazgo, cuando el incremento en la respuesta de la testosterona aguda correlacionó con los incrementos en la CSA muscular del cuádriceps femoral en hombres previamente desentrenados durante el período de entrenamiento de 6 meses. Debido a que la testosterona puede estimular la síntesis de proteínas después de los ejercicios de sobrecarga (34), estos hallazgos sugieren que el incremento en la respuesta aguda de la testosterona después de las cargas de fuerza intensas debido al entrenamiento de la fuerza prolongado puede ser un importante factor para la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento.

Podría ser especulado que el sistema hormonal se adaptó al presente entrenamiento de la fuerza hipertrófico sistemático disminuyendo las respuestas hormonales agudas. Esto podría ocurrir debido a la disminución de la respuesta de estrés y/o a la disminución de la producción hormonal. Puede ser necesario, e.g., incrementar el volumen de ejercicio en cierto grado para lograr respuestas hormonales agudas similares después de un período de entrenamiento de la fuerza de 6 meses en vez de al comienzo del período de entrenamiento. Sin embargo, también es posible que los sujetos del presente estudio estuvieran ligeramente sobre exigidos debido a que habían realizado varios meses de entrenamiento de la fuerza muy intenso. En realidad, nuestros sujetos reportaron algunas dificultades para llevar a cabo los ejercicios de sobrecarga intensos como fue planeado en el programa. De este modo, podría ser especulado que las respuestas hormonales agudas atenuadas podrían ser, al menos en parte, consecuencia del entrenamiento de la fuerza demasiado intenso durante un período de entrenamiento demasiado prolongado. Sin embargo, no hubo signos de disminuciones sistemáticas en la fuerza máxima muscular durante el estudio. Además, las concentraciones basales de testosterona, testosterona libre, y cortisol no cambiaron durante el período de entrenamiento de 6 meses para indicar una posible condición de sobreentrenamiento. Sin embargo, no son bien conocidos el período de tiempo exacto de las disminuciones en la fuerza muscular y los cambios en las concentraciones hormonales basales durante el sobreentrenamiento a largo plazo. Es posible que una tendencia hacia una disminución de la respuesta hormonal aguda observada en los presentes sujetos pueda ser un signo preliminar de una condición de sobreentrenamiento.

La alimentación de los presentes sujetos se acercó a las recomendaciones dietarias de los países Escandinavos, excepto para la ingesta relativa de carbohidratos del total de energía consumida, la cual fue de algún modo menor, y la ingesta proteica total fue mayor que la de las recomendaciones (28). De este modo, uno puede asumir que la ingesta proteica total de los sujetos (aproximadamente 1.7 g.Kg^{-1} de peso corporal) fue adecuada para el presente entrenamiento de la fuerza (25, 33). Interesantemente, los cambios relativos en el consumo total de energía y los cambios relativos en la CSA del cuádriceps femoral correlacionaron durante el período experimental de entrenamiento de 6 meses. Esto coincide con la idea de que, cuando los requerimientos proteicos individuales son alcanzados, el contenido de energía de la dieta tiene el mayor efecto sobre los cambios de la composición corporal (29). De este modo, los resultados del presente estudio sugieren la importancia de una ingesta calórica total suficiente como requerimiento para la hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento.

En conclusión, el presente estudio muestra que los protocolos hipertróficos SR y LR del estudio indujeron respuestas hormonales y neuromusculares agudas similares y que la duración de los períodos de recuperación (i.e., 2 y 5 minutos) entre las series no influyó la magnitud de las respuestas. Los resultados del presente estudio sugieren que puede haber diferentes formas de crear condiciones de ejercicio que conduzcan a grandes respuestas hormonales agudas, al menos cuando son realizadas varias series dentro de la intensidad de carga hipertrófica como 10RM. El presente estudio también muestra que las adaptaciones al entrenamiento a largo plazo en la fuerza y masa muscular no difirieron entre los 2 protocolos de entrenamiento de la fuerza hipertróficos examinados en el grupo de hombres jóvenes con antecedentes en entrenamiento de la fuerza. No obstante, los resultados del presente estudio también sugieren que los cambios inducidos por el entrenamiento de la fuerza en las respuestas de la testosterona total y testosterona libre después del ejercicio de fuerza intenso pueden contribuir a la hipertrofia muscular de los músculos entrenados.

Aplicaciones Prácticas

El presente estudio muestra que, en el ejercicio de fuerza intenso hipertrófico, la duración de los períodos de recuperación entre series de 2 vs. 5 minutos de no condujo a diferencias sistemáticas en las respuestas agudas metabólicas, hormonales o neuromusculares inducidas por el ejercicio. Además, las adaptaciones inducidas por el entrenamiento a través de un período de 3 meses en la fuerza y masa muscular fueron similar en magnitud en ambos protocolos de pausa corta y prolongada. De este modo, la duración de los períodos de recuperación entre series puede no ser un factor crucial en los tipos hipertróficos de protocolos de entrenamiento siempre que los músculos sean sobrecargados con varias series hasta el fallo concéntrico. En la práctica, el presente estudio sugiere que, en el ejercicio hipertrófico, grandes estímulos de ejercicio podrían ser logrados, ya sea con múltiples series de entrenamiento con períodos de recuperación cortos entre series o con en cierto modo menos series con períodos de recuperación prolongados entre series, pero con en cierto modo más intensidad. De este modo, podría ser hipotetizado que hay un cierto tipo de umbral de trabajo para ser realizado con el objetivo de crear respuestas fisiológicas inducidas por el ejercicio y que puede haber varios protocolos de entrenamiento para estimular a los músculos a que incrementen la fuerza y la masa muscular durante el entrenamiento de la fuerza a largo plazo. Sin embargo, lograr ganancias en la fuerza y masa muscular en hombres ya entrenados toma tiempo (varios meses) y puede ser importante diseñar programas de entrenamiento sistemáticamente de modo que los músculos sean expuestos a varios tipos de estímulos de entrenamiento de suficiente intensidad y volumen.

Agradecimientos

Este estudio fue apoyado en parte por una beca del Ministerio de Educación de Finlandia.

Dirección para el envío de correspondencia

J. Ahtiainen, correo electrónico: ahtiainen@sport.jyu.fi

REFERENCIAS

1. Durnin, J.V., and M.M. Rahaman (1967). The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br. J. Nutr.* 21:681-689
2. Ferrando, A.A., K.D. Tipton, D. Doyle, S.M. Phillips, J. Cortiella, and R.R. Wolfe (1998). Testosterone injection stimulates net protein synthesis but not tissue amino acid transport. *Am. J. Physiol.* 275: (5 Pt 1). E864-E871
3. Fleck, S.J., and W.J. Kraemer (1997). Designing Resistance Training Programs (2nd ed). *Champaign, IL: Human Kinetics*
4. Fleck, S.J., and W.J. Kraemer (1988). Resistance training: Basic principles; Part 1. *Phys. Sports Med.* 16:160-171
5. Fryburg, D.A., and E.J. Barrett (1993). Growth hormone acutely stimulates skeletal muscle but not whole-body protein synthesis in humans. *Metabolism.* 42:1223-1227
6. Kraemer, W.J (1992). Kraemer, W.J. Endocrine responses and adaptations to strength training. In: *Strength and Power in Sport, Komi PV, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications.* pp. 291-304
7. Kraemer, W.J., S.J. Fleck, J.E. Dziados, E.A. Harman, L.J. Marchitelli, S.E. Gordon, R. Mello, P.N. Frykman, P.L. Koziris, and T.N. Triplett (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J. Appl. Physiol.* 75:(2) 594-604
8. Kraemer, W.J., S.E. Gordon, S.J. Fleck, L.J. Marchitelli, R. Mello, J.E. Dziados, K. Friedl, E. Harman, C. Maresh, and A.C. Fry (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int. J. Sports Med.* 12:228-235
9. Kraemer, W.J., L. Marchitelli, S.E. Gordon, E. Harman, J.E. Dziados, R. Mello, P. Frykman, D. McCurry, and S.J. Fleck (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J. Appl. Physiol.* 69:1442-1450
10. Kraemer, W.J., and B.J. Noble. M.J. Clark, and B.W. Culver (1987). Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.* 8:247-252
11. Kraemer, W.J., J.F. Patton, S.E. Gordon, E.A. Harman, M.R. Deschenes, K. Reynolds, R.U. Newton, N.T. Triplett, and J.E. Dziados (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78:976-989
12. Lemon, P.W (1998). Effects of exercise on dietary protein requirements. *Int. J. Sport Nutr.* 8:426-447
13. McBride, J.M., W.J. Kraemer, N.T. Triplett-McBride, and W. Sebastianelli (1998). The effect of resistance exercise on free radical production. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:(1) 67-72
14. Phillips, S.M., K.D. Tipton, A.A. Ferrando, and R.R. Wolfe (1999). Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 276:E118-E124
15. Roos, G., M. Lean, and A. Anderson (2002). Dietary interventions in Finland, Norway and Sweden: Nutrition policies and strategies. *J. Hum. Nutr. Diet.* 15:99-110
16. Rozenek, R., P. Ward, S. Long, and J. Garhammer (2002). Effects of high-calorie supplements on body composition and muscular strength following resistance training. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 42:340-347
17. Rutherford, O.M., and D.A. Jones (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 55:100-105

18. Staron, R.S., D.L. Karapondo, W.J. Kraemer, A.C. Fry, S.E. Gordon, J.E. Falkel, F.C. Hagerman, and R.S. Hikida (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol.* 76:1247-1255
19. Stone, M.H., H. O'Bryant, and J. Garhammer (1981). A hypothetical model for strength training. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 21:342-351
20. Tarnopolsky, M.A., S.A. Atkinson, J.D. MacDougall, A. Chesley, S. Phillips, and H.P. Swarcz (1992). Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J. Appl. Physiol.* 73:1986-1995
21. Tipton, K.D., and R.R. Wolfe (2001). Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *Int. J. Sport. Nutr. Exerc. Metab.* 11:109-132

Cita Original

Ahtiainen Juha P., Arto Pakarinen, Markku Alen, William J. Kraemer, Keijo Häkkinen. Short vs. Long Rest Period Between the Sets in Hypertrophic Resistance Training: Influence on Muscle Strength, Size, and Hormonal Adaptations in Trained Men. *J. Strength Cond. Res.*; 19 (3): 572-582; 2005.