

Research

Características Electromiográficas, de las Fibras Musculares, y de la Producción de Fuerza durante un Período de Entrenamiento de Un Año, en Levantadores de Pesas de Elite

Paavo V Komi¹, Keijo Häkkinen¹, Markku Alen² y Heikki Kauhanen¹

¹Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland and Research Unit for Sport and Physical Fitness, Jyväskylä, Finland.

²Department of Health Sciences, University of Jyväskylä, SF-40100 Jyväskylä, Finland.

RESUMEN

En el presente estudio se investigaron los efectos de un año de entrenamiento en 13 levantadores de pesas de elite, a través de la evaluación periódica de las características electromiográficas, de las fibras musculares, y la producción de fuerza. Durante el año de entrenamiento se produjo un incremento no significativo, de 4.841 ± 1104 hasta 5010 ± 101 N, que representó un incremento del 3.5% en la fuerza isométrica máxima de los extensores de la rodilla. Los cambios individuales en la parte alta de la curva fuerza-velocidad tuvieron una correlación significativa ($p < 0.05-0.01$) con los cambios en el rendimiento del lavamiento de pesas. Los meses de entretenimiento 5-8 se caracterizaron por tener una intensidad promedio mas baja ($77.1 \pm 2.0\%$), lo cual resultó en una disminución significativa ($p < 0.05$) en la activación neurológica máxima (IEMG) de los músculos, mientras que los últimos cuatro meses, con una intensidad promedio ligeramente superior ($79.1 \pm 3.0\%$), produjo un incremento significativo ($p < 0.01$) en la IEMG máxima. Los aumentos individuales en la intensidad de entrenamiento entre estos dos periodos, tuvieron una correlación con los incrementos individuales tanto en la fuerza muscular ($p < 0.05$) como con el peso levantado en el ejercicio de envión ($p < 0.05$). Además, durante el año de entrenamiento se produjo un aumento no significativo del 3.9% en el área promedio de las fibras musculares. Los hallazgos del presente estudio demuestran el limitado potencial para el desarrollo de la fuerza en atletas de elite, y surgieron que las magnitudes y los tiempos de las adaptaciones neurológicas e hipertróficas en el sistema neuromuscular durante el entrenamiento pueden diferir de las reportadas para sujetos previamente desentrenados. Los resultados indican, además, la importancia de la intensidad de entretenimiento para modificar las repuestas al mismo, en atletas de elite.

Palabras Clave: activación neural, hipertrofia, intensidad de entrenamiento, entrenamiento de la fuerza

INTRODUCCION

La fuerza muscular, la potencia y la velocidad son atributos que han despertado un considerable interés entre los investigadores y deportistas. Los mecanismos de adaptación de estas variables del rendimiento deportivo siguen planteando desafíos para los entrenadores y fisiólogos del ejercicio, y por ejemplo, se han realizado varios intentos para caracterizar los eventos que producen un aumento de la fuerza muscular. Esta información a provenido principalmente de estudios llevados a cabo con sujetos inicialmente desentrenados y, aunque este "mecanismo" en si está lejos de la respuesta final, estos estudios han generado un considerable avance para comprender las respuestas neuromusculares asociadas al entrenamiento de sobrecarga (Komi and Buskirk, 1972; MacDougall et al., 1977; Moritani and DeVries, 1979; Komi et al, 1978; 1982; Häkkinen et al, 1981; Häkkinen and Komi, 1983; Houston et al, 1983).

Los deportistas que ya tienen un tiempo considerable de entrenamiento pueden presentar un problema especial para el estudio de las adaptaciones al entrenamiento de sobrecarga. Para tener una mayor comprensión acerca de esta cuestión, se llevo a cabo el presente estudio, siguiendo a un grupo de levantadores de pesas de elite durante un periodo de un año, en el cual los atletas mantuvieron su programa normal de entretenimiento. Durante este período hemos realizado un análisis del entrenamiento llevado a cabo por los atletas y realizamos varios tests repetidos en laboratorio para valorar el rendimiento neuromuscular. De esta manera se esperaba que se pudiesen obtener mayores datos sobre las interrelaciones entre las variaciones en la intensidad (y volumen) de entrenamiento y las respuestas adaptativas del sistema neuromuscular.

METODOS

Sujetos. Trece levantadores de pesas de elite se ofrecieron voluntariamente para participar en el presente estudio. Los sujetos tenían experiencia regular en entretenimiento de la fuerza, y habían participado en competencias de halterofilia durante 7.1 ± 2.1 años. Todos los sujetos eran campeones finlandeses y/o tenían récords nacionales en las distintas categorías de peso, es decir, entre 52.0 y 110.0 kg. En la Tabla 1 se presentan las características físicas de los sujetos.

Variable	Antes		Después	
	Media	DE	Media	DE
Edad (años)	23.0	2.8	-	
Talla (cm)	171.1	9.6	-	
Peso (kg)	78.9	14.7	78.8	14.3
Grasa Corporal (%)	12.1	3.3	12.0	2.2
Perímetro de Muslo (cm)	53.6	4.6	53.9	4.2

Tabla 1. Características físicas de los levantadores de pesas de elite, antes y después de 12 meses de entrenamiento intenso de sobrecarga.

Evaluación. Los sujetos fueron evaluados en 4 sesiones idénticas con intervalos de 4 meses, antes, durante, y después del periodo experimental de 12 meses. Los tests se llevaron a cabo en cada sesión como un orden fijo.

Se midió la fuerza isométrica bilateral máxima y distintos parámetros de fuerza-tiempo (f-t) (ver Viitasalo and Komi, 1978) de los músculos extensores de la rodilla, utilizando para esto un dinamómetro electromecánico (Komi, 1973). Durante el test, las contracciones se llevaron a cabo con ángulos de rodilla y cadera de 107° y 110° , respectivamente. Los sujetos realizaron de 3 a 4 contracciones máximas a la máxima tasa de desarrollo de la fuerza. La fuerza ejercida en cada contracción fue registrada en una cinta magnética (Racal Store 7) para posteriores análisis en computadora (HP 1000 F). Además de la fuerza máxima, se analizo toda la curva fuerza-tiempo (f-t), de modo que se pudieron calcular, en una escala relativa, los tiempos necesarios para incrementar la fuerza desde el 10% a 30%, 60% y 90% de la MVC (Häkkinen et al, 1980). En la escala absoluta, comenzando desde un nivel de fuerza de 100 N, se obtuvieron los tiempos para alcanzar 500, 1.500, 2.500 y 3.500 N. El análisis de la curva f-t también incluyo el calculo de la fuerza hasta los 500 ms (Häkkinen et al, 1985a).

Además se trazaron las curvas de fuerza-velocidad para los extensores de la rodilla realizando diversos tipos saltos verticales máximos sobre una plataforma de fuerza (Komi et al, 1974). Los tests incluían: a) Salto desde media sentadilla (*Squat Jump* [SJ]) desde una posición estática de media sentadilla (ángulo de rodilla de 90°, medido con un goniómetro eléctrico) y sin contramovimiento preliminar; y b) un salto con contra movimiento (*Countermovement Jump* [CMJ]) desde una posición de parado con un contramovimiento preliminar (Komi and Bosco, 1978). En estas condiciones de salto sin carga extra, los sujetos mantuvieron sus manos sobre sus caderas durante todo el salto. Asimismo, los sujetos realizaron los saltos desde media sentadilla y con contramovimiento con una carga adicional (Bosco and Komi, 1979). En estos saltos sobre la plataforma de fuerza, se utilizó un carga sobre los hombros de 40, 80, 100, y 140 kg. Para cada sujeto se registraron 2 intentos en cada condición de salto. Se utilizó el tiempo de vuelo desde la señal de partida para calcular la altura de elevación del centro de gravedad (h (CG)) (Asmussen and Bonde-Petercen, 1974) con una computadora (HP 1000 F). El análisis final se llevó a cabo con las relaciones carga-altura del salto vertical, lo cual también ha mostrado caracterizar la relación fuerza-velocidad angular en los saltos SJ y CMJ (Viitasalo, 1985).

Los sujetos también fueron evaluados sobre la plataforma de fuerza durante la realización de distintos saltos con caída. Durante estos saltos, los sujetos se dejaron caer desde alturas de 20, 40, 60, 80, y 100 cm hacia la plataforma de fuerza, saltando hacia arriba inmediatamente después de hacer contacto con la plataforma (Komi and Bosco, 1978). Se registraron los valores obtenidos por cada sujeto en dos intentos, con lo cual se llevó a cabo el cálculo de las alturas de elevación del centro de gravedad.

Se registró la actividad electromiográfica (EMG) del vasto lateral (VL), tanto durante los tests para la medición de la fuerza isométrica como durante los tests realizados en la plataforma de fuerza. Se obtuvieron registros bipolares (20 mm de distancia inter-electrodos) con electrodos miniatura Beckman colocados longitudinalmente sobre el área de la placa motora, determinada a través de un estimulador Neuroton 626. Las posiciones de los electrodos fueron marcadas sobre la piel con pequeñas marcas realizadas con tinta (ver Häkkinen and Komi, 1983). Estos puntos aseguraban la misma ubicación de los electrodos en cada test, durante el periodo experimental de 12 meses. Las EMG fueron registradas teleméricamente (Medinik AB Model IC-600-G) en una cinta magnética y fueron integradas (IEMG por un segundo) y promediadas para los dos músculos, tanto durante la contracción isométrica máxima como durante las fases excéntrica y concéntrica en el momento del contacto con el piso durante los saltos. En las contracciones isométricas, la EMG también fue integrada (IEMG por un segundo) en períodos de 100 ms con el objeto de realizar un análisis IEMG-tiempo desde el comienzo de la contracción, similar al de la fuerza isométrica promedio (ver Häkkinen et al, 1985a).

Para los tests de levantamientos olímpicos, arranque y envión, los sujetos entraron en calor con una carga del 50-60% de su máximo, y los tests comenzaron con una carga del 70% máximo. Luego de 2 fallas con la misma carga el test se daba por terminado.

Se obtuvieron muestras musculares del vasto lateral izquierdo utilizando la técnica de biopsia con aguja (Bergström, 1962).

Se utilizó la técnica de tinción histoquímica para determinar el contenido de ATPasa miofibrilar (Padykula and Herman, 1955) y de esta manera clasificar las fibras como rápidas (FT) o lentas (ST) (Gollnick et al, 1972). Para el cálculo de las áreas de sección cruzada de las fibras y del cociente entre las áreas de fibras FT/ST, se seleccionaron 10 células rápidas representativas y 10 células lentas representativas. Esta selección siempre tuvo lugar en la misma área en la cual la sección transversal aparecía perpendicular a la orientación de la fibra. La muestra fue proyectada desde un microscopio a un teclado digital conectado a una computadora para cálculo de las áreas de sección cruzada promedio de los grupos de células FT y ST (Viitasalo and Makinen, 1980; Viitasalo et al, 1980).

El porcentaje de grasa corporal y la masa magro fueron estimadas a partir de mediciones de pliegues cutáneos (Durnin and Rahamam, 1967). Se midió el perímetro del muslo con una cinta colocada alrededor de los músculos relajados y con el sujeto en posición de sentado. Se midieron y se promediaron las partes proximal, media y distal del muslo.

Para los cálculos de las medias, desviaciones estándar, errores estándar y coeficientes de correlación, se utilizaron métodos estadísticos estándar. Para evaluar las diferencias entre las medias, antes y después del entrenamiento, se utilizó la prueba t de student.

Entrenamiento. Durante el período experimental, los sujetos entrenaron con ejercicios del levantamiento de pesas de acuerdo a los programas individuales de entrenamiento desarrollados por sus entrenadores personales. Durante todo el periodo experimental se llevaron planillas de entrenamiento, de manera tal que estas podían ser analizadas en detalle para determinar el volumen y la intensidad (carga) de cada sesión de entrenamiento. Durante el período experimental, el grupo de sujetos entrenó un promedio de 5 veces semanales. El entrenamiento incluía los ejercicios normales para el entrenamiento de la fuerza utilizados por los levantadores de pesas, tales como los levantamientos olímpicos (arranques y envión), diversos levantamientos de potencia, distintos ejercicios de tracción, levantamientos con sentadillas para el fortalecimiento de las piernas, ejercicios de empuje para fortalecer los brazos, y algunos otros ejercicios de fortalecimiento

para grupos musculares seleccionados. El entrenamiento de los músculos extensores de la rodilla, mediante el ejercicio de sentadilla, se llevó a cabo, en promedio, 3 veces por semana. Los volúmenes, semanales promedio de los ejercicios de sentadillas fueron 7.977 ± 2.499 , 7.165 ± 2.130 , y 8.703 ± 1.245 kg para el primer, segundo, y tercer periodo de entrenamiento de 4 meses respectivamente, y las intensidades promedio en estos periodos fueron de 77.9 ± 1.9 , 77.1 ± 2.0 , y $79.1 \pm 3.0\%$ de una repetición máxima (ver también Figura 1).

RESULTADOS

Características Físicas Y Fibras Musculares

El peso corporal, el perímetro de muslo y el porcentaje de grasa corporal de los sujetos permanecieron estadísticamente sin cambios durante el periodo experimental de 12 meses (Tabla 1). Lo mismo sucedió con las áreas promedio de las fibras musculares FT y ST, aunque los valores medios mostraron un aumento del 4.5 y 2.9%, respectivamente. De manera similar el área total de las fibras aumentó (no significativamente [NS]) un 3.9% (Figura 1) y el porcentaje de fibras FT del vasto lateral también se mantuvo sin cambios (de 53.7 ± 10.5 a $52.1 \pm 8.6\%$).

Curvas de Fuerza Isométrica Máxima, IEMG Máximo, Curva Fuerza-Tiempo e IEMG-Tiempo

La fuerza isométrica máxima durante la extensión de rodillas exhibió un cambio no significativo del 3.5%, de 4841 ± 1104 a 5010 ± 1012 N, durante el período experimental de 12 meses. La Figura 1 muestra los cambios de la fuerza isométrica, durante el transcurso del entrenamiento. No se observaron cambios estadísticamente significativos cuando se compararon los valores medios pre y post entrenamiento de la IEMG. Durante el segundo período de entrenamiento, en el cual se utilizó la intensidad promedio más baja, se observó una disminución significativa ($p < 0.05$) en la IEMG máxima, desde 0.38 ± 0.08 a 0.32 ± 0.11 mV/seg (Figura 1). Durante el último periodo de entrenamiento, cuando se utilizó la intensidad mas elevada, la IEMG máxima se incrementó significativamente ($p < 0.5$) a 0.37 ± 0.11 mV/seg. Los cambios individuales en la IEMG máxima y en la fuerza isométrica máxima, durante este último período de entrenamiento, tuvieron una correlación significativa ($r = 0.56$, $p < 0.05$).

La Figura 2 muestra la curva promedio de IEMG-tiempo y la curva promedio fuerza-tiempo, antes y después del año de entrenamiento. Aunque las posiciones de las cuevas fueron levemente diferentes después del entrenamiento, no se pudieron observar diferencias estadísticamente significativas.

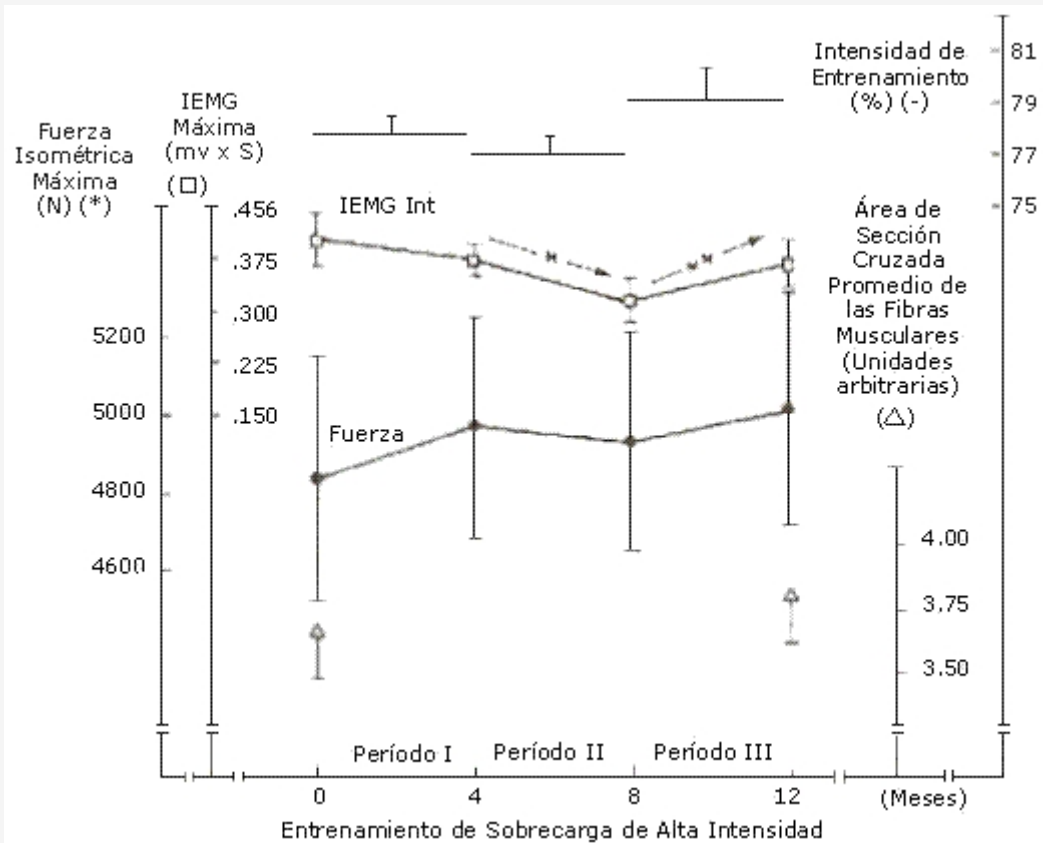


Figura 1. Valores medios ($\pm EE$) para la IEMG máxima (promedio entre el vasto lateral y el vasto medio), para la fuerza isométrica máxima durante la extensión bilateral de rodillas, y media (unidades arbitrarias $\pm EE$) de las áreas totales de las fibras musculares FT y ST del vasto lateral, durante 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas de elite. También se muestran los rangos medios ($\pm EE$) de intensidad utilizados para los extensores de la rodilla, durante cada uno de los tres periodos de entrenamiento (* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$).

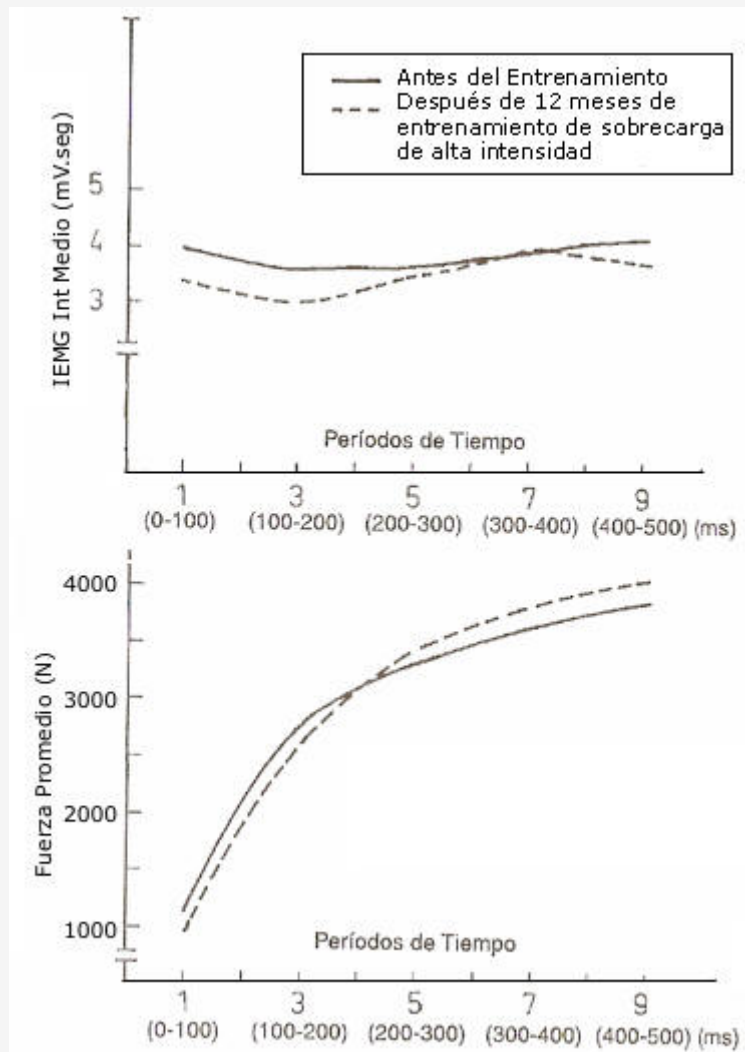


Figura 2. Curvas promedio de IEMG-tiempo (promedio de las IEMG del vasto lateral y medio) y fuerza-tiempo durante la extensión isométrica rápida de rodillas, antes y después del periodo de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas elite.

Curva Fuerza-Velocidad e IEMG, Durante la Contracciones Concéntricas

El entrenamiento de sobrecarga de 12 meses produjo leves aumentos en las alteas del salto SJ con todas las cargas, desde 0 hasta 140 kg (Figura 3). Se observó un incremento significativo ($p < 0.05$) en la altura del salto durante el entrenamiento con SJ0 (de 42.6 ± 3.8 a 46.5 ± 6.5 cm) y con SJ80 (de 42.6 ± 3.8 a 46.5 ± 6.5 cm). Durante el entrenamiento se observaron leves incrementos, pero no significativos, en la IEMG máxima de los 2 músculos, registrada durante los contactos de los saltos desde media sentadilla (Figura 3). La Figura 4 muestra los cambios en la IEMG máxima y en la altura de salto durante los SJ140, con el transcurso del entrenamiento. Durante el segundo período del entrenamiento, cuando se uso la intensidad más baja, la IEMG máxima mostró una reducción significativa ($p < 0.05$), que volvió a incrementarse significativamente ($p < 0.05$) durante el último período de entrenamiento, cuando la intensidad fue la más elevada.

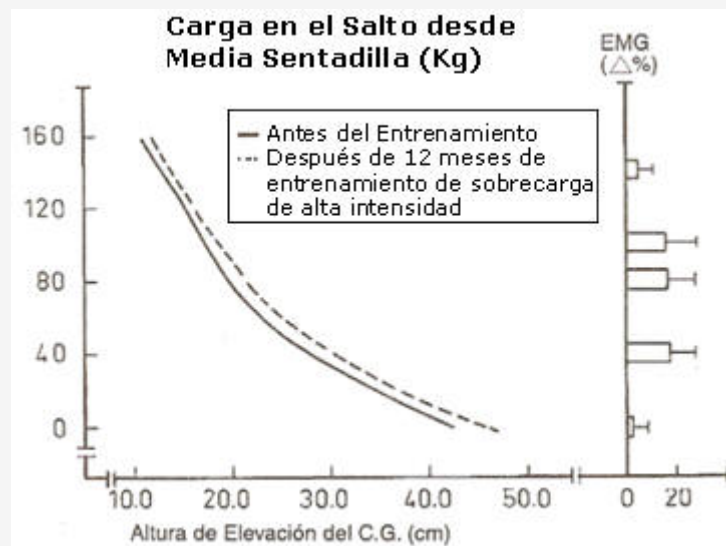


Figura 3. Curvas promedio de fuerza-velocidad (altura del salto vertical-carga) de los extensores de la rodilla durante contracciones concéntricas, antes y después del periodo de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas de elite. También se muestran los cambios relativos durante las fases concéntricas de los saltos verticales desde media sentadilla.

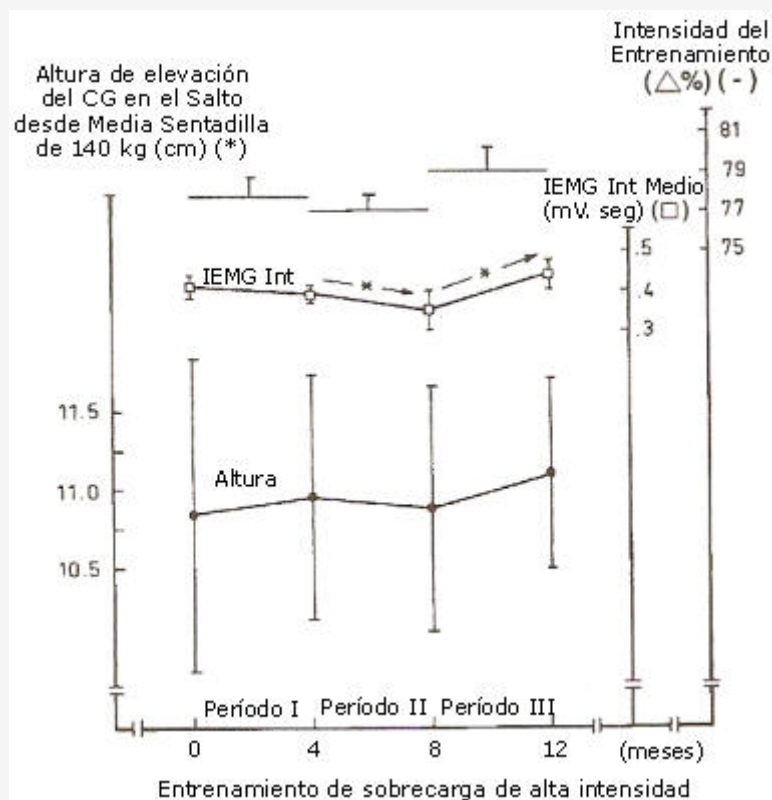


Figura 4. Altura promedio (\pm EE) de elevación del centro de gravedad (CG) durante el salto vertical desde media sentadilla, con la carga mas alta (140 kg), e IEMG medio (\pm EE) para los vastos lateral y medio, durante la fase concéntrica del salto, en el periodo de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas elite. También se muestran los rangos medios (\pm EE) de intensidad para los extensores de la rodilla, durante cada uno de los tres periodos de entrenamiento (* = $p < 0.05$) (ver también Figura1).

Curva Fuerza-Velocidad e IEMG Durante los Ejercicios con Contramovimiento

Durante 12 meses de entrenamiento no se observaron cambios estadísticamente significativos en las alturas de los CMJ, con ninguna de las cargas examinadas (desde 0 hasta 140 kg) (Figura 5). La IEMG máxima de los 2 músculos durante la fase excéntrica del CMJ también permaneció sin cambios (Figura 5). Con el entrenamiento se produjo un leve incremento en la IEMG máxima durante la fase concéntrica del CMJ. Este aumento fue significativo ($p < 0.05$) para la IEMG registrada durante los CMJ100.

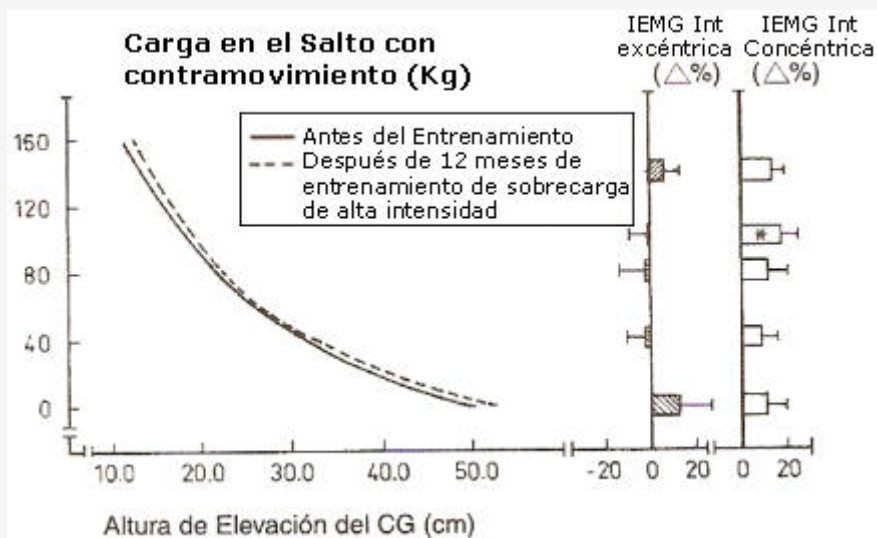


Figura 5. Curvas promedio de fuerza-velocidad (altura en salto vertical-carga) de los extensores de la rodilla durante los saltos con contramovimiento, antes y después del período de 12 meses del entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas elite. También se muestran los cambios relativos ($\pm EE$) en la IEMG del vasto lateral y medio durante las fases excéntricas y concéntricas de los saltos con contramovimiento (* = $p < 0.05$).

Alturas de Salto e IEMG durante la Realización de los Saltos con Caída

El rendimiento durante la realización de los saltos con caída desde diferentes alturas (desde 20 hasta 100 cm) se mantuvo sin cambios durante el período de 12 meses de entrenamiento intenso de sobrecarga (Figura 6). Lo mismo sucedió para la IEMG máxima durante las diversas fases del contacto en todos los saltos con caída (Figura 6).

Resultados del Levantamiento de Pesas

Durante el período de entrenamiento de 12 meses se produjeron ligeros incrementos no significativos, tanto en el arranque (de 120.0 ± 18.1 a 121.4 ± 14.6 kg) como en el envión (de 147.5 ± 20.1 a 150.0 ± 20.3) (Figura 7).

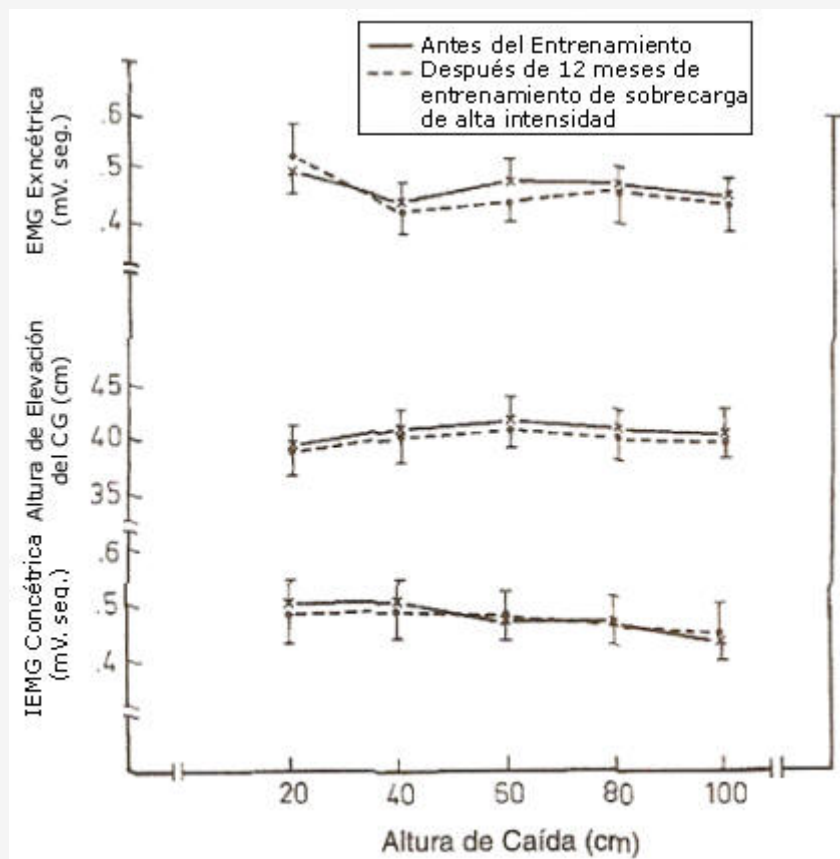


Figura 6. Altura promedio (\pm EE) de elevación del centro de gravedad (CG) durante los saltos con caída, realizados desde alturas de 20, 40, 60, 80 y 100 cm, e IEMG promedio (\pm EE) para el vasto lateral y medio, durante las fases excéntrica y concéntrica de los saltos con caída, antes y después del período de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad en levantadores de pesas elite.

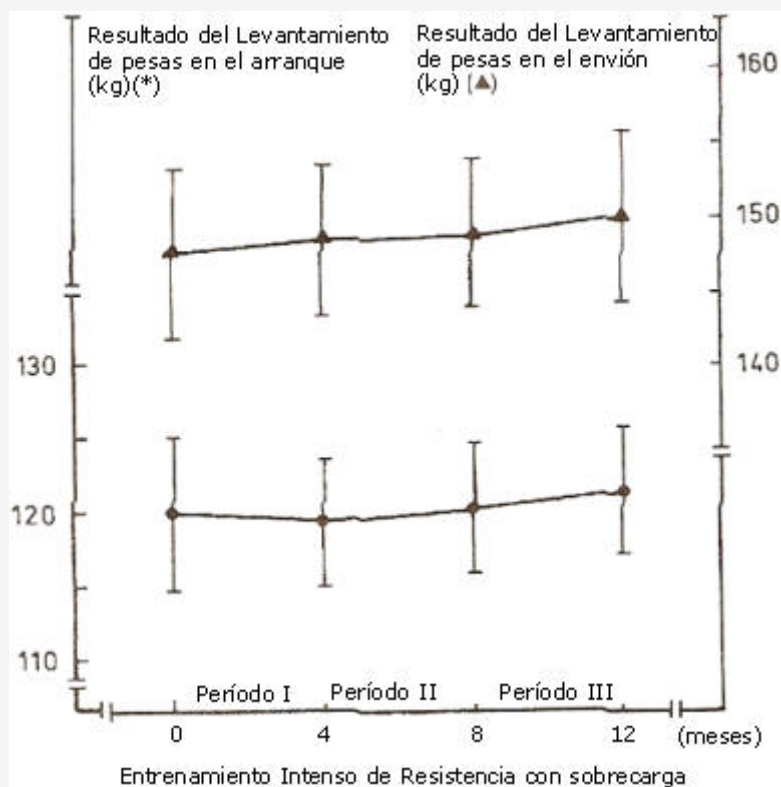


Figura 7. Cambios en el rendimiento (media \pm EE) para los ejercicios de arranque y envión, durante el período de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas de elite.

Comparación entre los Cambios en la Producción de Fuerza y el Cambio en el Rendimiento en los Ejercicios del Levantamiento de Pesas

Las correlaciones entre los cambios relativos en las alturas del CG durante los SJ y los cambios en el rendimiento en los ejercicios del levantamiento de pesas aumentaron, en general, con el aumento de la carga. La Figura 8a muestra estas correlaciones para el envión (desde SJ0, $r = 0.42$, NS; hasta SJ140, $r = 0.65$, $p < 0.01$) (ver además la Figura 8b). Las correlaciones entre los cambios relativos en las alturas del salto y el arranque fueron, en promedio, algo menores. La correlación más alta es la del SJ100 ($r = 0.59$, $p < 0.05$; Figura 9a). La correlación mas alta ($r = 0.70$, $p < 0.01$) fue observada entre los cambios relativos en el SJ100 y los cambios en los resultados totales del levantamiento de pesas (Figura 9b).

Las correlaciones entre los cambios relativos, con el entrenamiento, en el rendimiento durante los CMJ con los resultados del levantamiento de pesas también aumentaron, en general, con el incremento de carga. Las Figuras 10a y 10b muestran las correlaciones entre los cambios en el SCJ100 y el envión ($r = 0.60$, $p < 0.05$), y el resultado total del levantamiento de pesas ($r = 0.58$, $p < 0.05$).

Las correlaciones entre los cambios relativos en la producción de fuerza isométrica con los resultados en el levantamiento de pesas fueron positivas, pero no estadísticamente significativas.

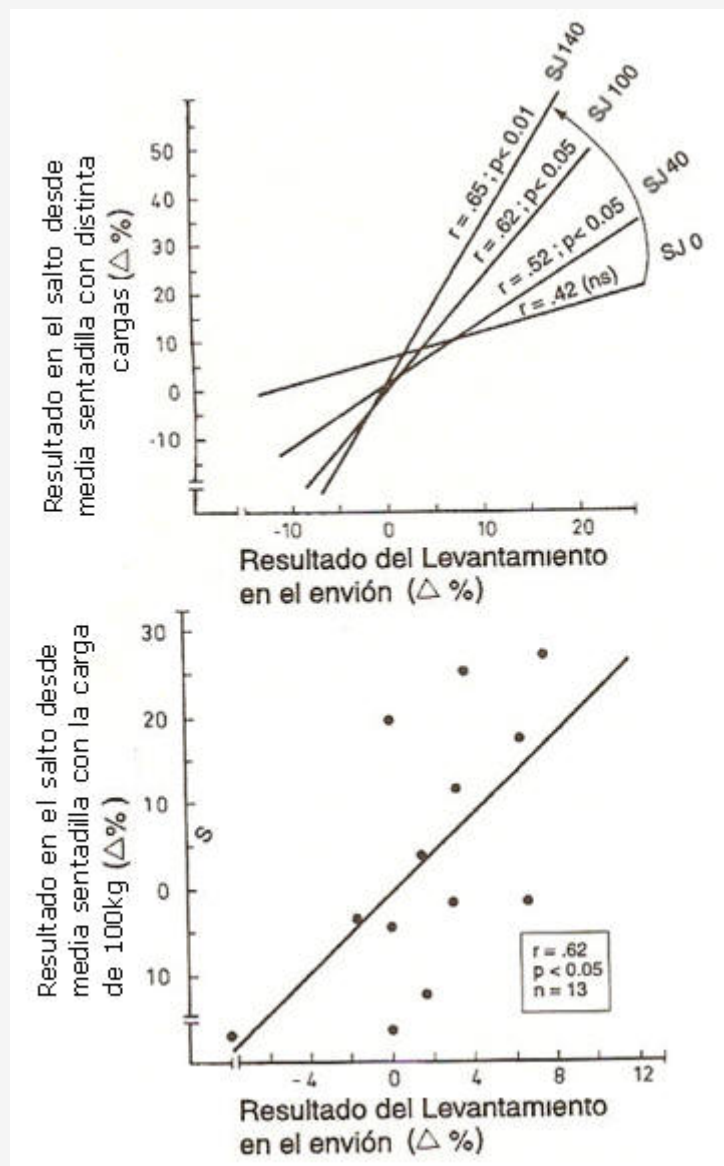


Figura 8. Correlaciones entre los cambios relativos en la altura vertical de elevación del centro de gravedad (CG), en los saltos desde media sentadilla, realizados con cargas de 0, 40, 100, y 140 kg y los cambios en el resultado del envión (A), y entre los cambios relativos en la altura de salto desde media sentadilla realizado con una carga de 100 kg y los cambios en el resultado del envión (B), después del periodo de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas de elite.

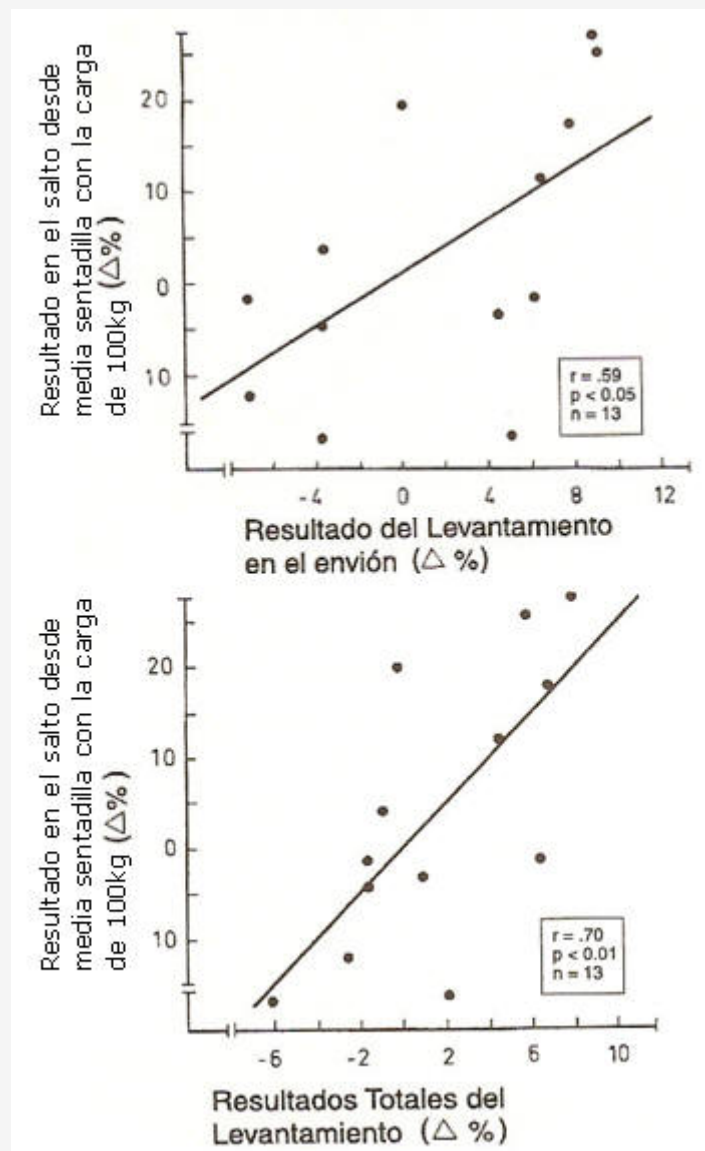


Figura 9. Correlación entre los cambios relativos en la altura vertical del centro de gravedad (CG) en el salto desde media sentadilla, realizado con una carga de 100 kg y los cambios en los resultados del arranque (A); y entre los cambios en el mismo salto y los cambios en el resultado total del levantamiento de pesas (arranque + envión) (B), después del periodo de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas de elite.

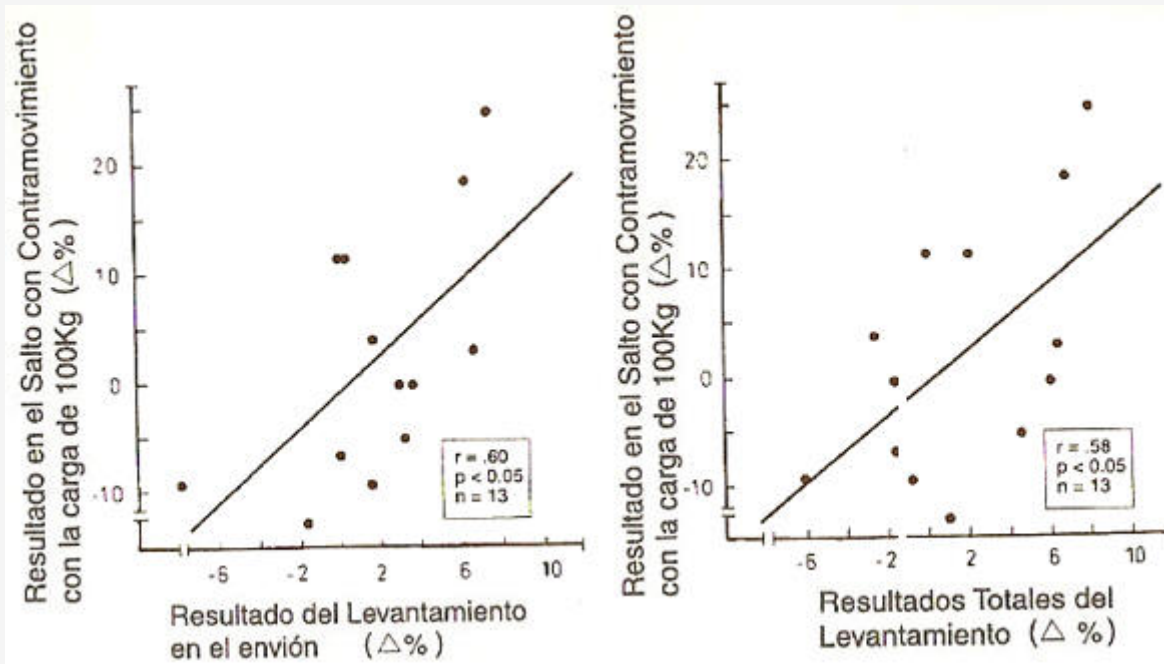


Figura 10. Correlaciones entre los cambios relativos en la altura vertical de elevación del centro de gravedad (CG) durante el salto con contramovimiento, realizado con una carga de 100 kg y los cambios en el resultado del envión (A); y entre los cambios en el mismo salto y los cambios en el resultado total del levantamiento de pesas (arranque + envión) (B), después del periodo de 12 meses de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad, en levantadores de pesas de elite.

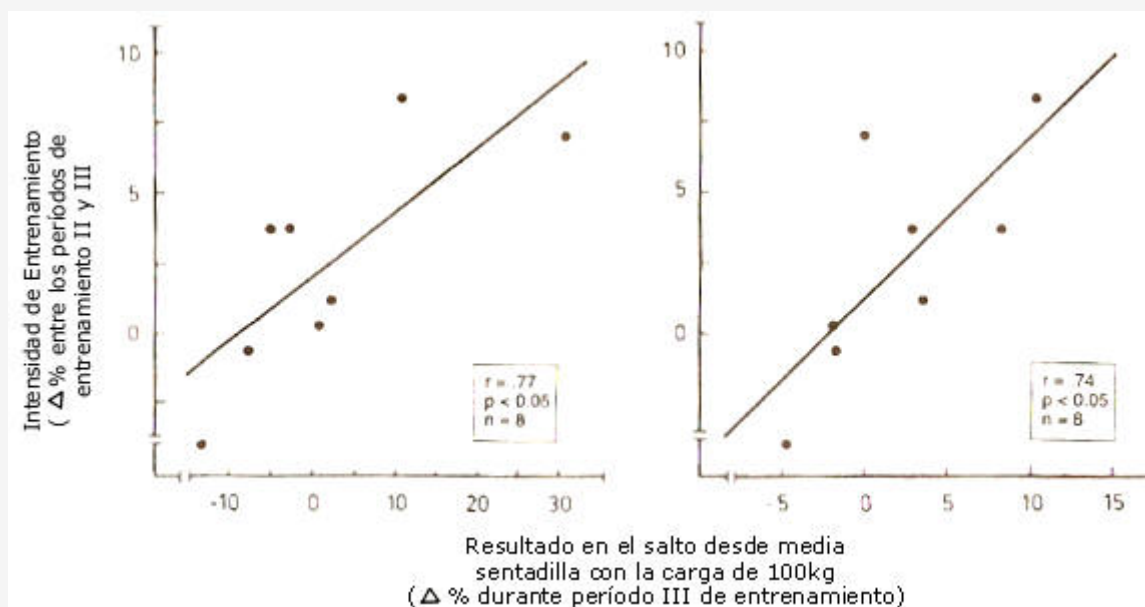


Figura 11. Correlaciones entre los cambios relativos en la intensidad de entrenamiento de los músculos extensores de la rodilla en los periodos de entrenamiento II y III, y los cambios en la altura vertical de elevación del centro de gravedad (CG) en el salto desde media sentadilla, realizado con una carga de 100 kg (A), y entre los cambios en la intensidad de entrenamiento y los cambios en los resultados del envión (B), después del tercer periodo de 4 meses de entrenamiento en levantadores de pesas de elite (ver también Figuras 1, 4, y 7).

DISCUSION

Con el transcurso del año, los resultados del estudio solo mostraron pequeños incrementos en la fuerza muscular y en el rendimiento en el levantamiento de pesas. No hubo marcados incrementos en los promedios grupales, pero se observaron correlaciones significativas entre los cambios en las porciones superiores de la curva fuerza-velocidad y los cambios en los resultados en el levantamiento de pesas. En el período de 4 meses de entrenamiento con baja intensidad se produjo una disminución significativa de la IEMG máxima de los músculos entrenados, mientras que luego de otro periodo de entrenamiento de la misma duración, pero con una intensidad promedio levemente superior, se produjo un aumento significativo en la activación neural máxima de los mismos músculos. La hipertrofia muscular también fue sorprendentemente pequeña, a juzgar por los cambios no significativos en las áreas de las fibras musculares durante el periodo experimental. La activación muscular y la producción de fuerza, tanto en la primera porción de la curva fuerza isométrica-tiempo, como los tests de saltos con caída, permanecieron sin cambios.

Estos cambios en las variables de rendimiento son mucho menores de los que se podría esperar en individuos "normales" desentrenados, para los cuales casi cualquier método puede producir el aumento de la fuerza muscular, suponiendo que la frecuencia de sesiones y las intensidades de entrenamiento sean progresivamente mayores (Komi, 1986). Los mecanismos reales y la magnitud de este incremento en la fuerza muscular podrían, por lo tanto, originarse en forma diferente, dependiendo del estado inicial de entrenamiento de los sujetos. En general se acepta que, en individuos desentrenados, el efecto del entrenamiento de sobrecarga puede observarse como un aumento de la activación neurológica de los músculos. Este hecho, luego es seguido por incrementos en el tamaño de las fibras musculares, y este efecto hipertrófico podría ser más pronunciado en las fibras rápidas (para detalles ver, MacDougall et al, 1977; Moritani and DeVries, 1979; Häkkinen et al, 1981; Komi et al, 1982; Häkkinen and Komi, 1983; Houston et al, 1983). Sin embargo, en los deportistas de fuerza con considerables antecedentes de entrenamiento, la respuesta al mismo puede diferir sustancialmente de la observada en sujetos desentrenados. Esta respuesta está caracterizada por cambios hipertróficos y neurológicos menos pronunciados (i.e., Häkkinen, 1985; Hakkinen et al, 1985a), y los resultados presentados en la Figura 1 concuerdan con estas observaciones previas.

La cuestión principal concerniente a las respuestas adaptativas en deportistas bien entrenados es como el entrenamiento puede cambiarse periódicamente para obtener los resultados deseados. Las variaciones, tanto como en la magnitud como en la intensidad, podrían ser relevantes a este respecto (i.e., Häkkinen, 1985). El presente estudio con un año de entrenamiento incluyó periodos durante los cuales tanto el volumen como la intensidad del entrenamiento fueron diferentes a las condiciones "normales" de entrenamiento. El periodo II de cuatro meses de duración tuvo una intensidad de entrenamiento levemente menor, y esto produjo disminuciones significativas en el rendimiento; particularmente en la IEMG máxima (ver Figuras 1 y 4). Cuando la intensidad aumento nuevamente (periodo III), estas disminuciones fueron revertidas, y la IEMG aumentó significativamente. La curva promedio de fuerza muscular siguió la respuesta de la IEMG, pero los cambios no fueron significativos (ver Figuras 1 y 4). Estos resultados respaldan los hallazgos de estudios previos (Hakkinen et al., 1985a) que indican que en el entrenamiento de sobrecarga es necesaria una intensidad >80% de la carga concéntrica máxima antes de poder observar incrementos en la EMG de deportistas de deportes de fuerza bien entrenados. Además podría justificarse la conclusión de que entrenamiento total en el presente período de un año tuvo una intensidad demasiado baja como para provocar cambios observables en la EMG o en los parámetros asociados a la fuerza. Las Figuras 11a y 11b también podrían tomarse como indicación de que, cuando aumenta la intensidad de entrenamiento, los cambios pueden observarse no solo en los parámetros evaluados en el laboratorio sino también en el rendimiento del levantamiento de pesas. Si bien no se muestra en ninguna de las figuras, los cambios en el volumen del entrenamiento, en oposición con la intensidad, no provocaron la respuesta de los parámetros evaluados. El hecho de que los tests del laboratorio fueran lo suficientemente sensibles como para reflejar cambios en los resultados del levantamiento de pesas es alentador para la futura evaluación de los problemas de entrenamiento, entre los levantadores de pesas de elite. En este sentido, son útiles las interrelaciones entre los cambios en las porciones de mayor fuerza de la curva fuerza-velocidad (Figuras 8-10) y los resultados en el levantamiento de pesas para enfatizar la importancia de la fuerza máxima de los extensores de la rodilla, como se ha reportado en otros estudios llevados a cabo con levantadores de pesas (Oleshko, 1979).

Los mecanismos que provocan el incremento de la fuerza y del rendimiento entre los levantadores de pesas de elite podrían no ser diferentes de los sugeridos para individuos menos entrenados (para detalles ver Komi and Buskirk, 1972; Moritani and DeVries, 1979; Komi et al, 1978; 1982; Häkkinen and Komi, 1983; Houston et al, 1983). Pero el nivel inicial de entrenamiento de los atletas hace que el proceso sea más complicado de seguir y mas difícil de sustanciar. En sujetos desentrenados y/o menos entrenados, la clase de entrenamiento utilizado podría no ser un factor tan critico, siempre y cuando el volumen y la intensidad estén dentro de niveles "adecuados" (i.e., Häkkinen and Komi, 1981). Sin embargo en deportistas entrenados en la fuerza, los tiempos de adaptación probablemente sean diferentes y por lo tanto, la variación en el entrenamiento, particularmente en la intensidad, debe ser bien programada. Nuevamente la dificultad aquí radica en el problema de que, si bien hay información disponible con respecto a los métodos utilizados para incrementar el tamaño

muscular en individuos como por ejemplo los físicoculturistas (i.e., MacDougall et al, 1982; Tesch and Larsson, 1982; Häkkinen et al, 1984; 1986), esta información podría no ser directamente aplicable a la planificación de programas de entrenamiento para los levantadores de pesas. Asimismo, podrían surgir problemas similares con los otros criterios de "rendimiento".

En sujetos previamente desentrenados y/o menos entrenados la especificidad del entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad puede demostrarse "fácilmente" a través de los grandes incrementos en la fuerza máxima, mientras que los cambios concomitantes en la producción de fuerza en las primeras porciones de curvas fuerza isométrica-tiempo y/o fuerza concéntrica-velocidad tienden a ser solo leves (o incluso menores) (i.e., Ikai, 1970; Sukop and Nelson, 1974; Häkkinen et al, 1980; 1981). También se ha observado la especificidad del entrenamiento entre sujetos bien entrenado, cuando los métodos de entrenamiento han cambiado dramáticamente, por ejemplo, utilizando cargas de alta intensidad en el lugar de entrenamiento de fuerza de tipo explosivo (Häkkinen et al; 1985a, 1985b). Por lo tanto, sería de esperar que esta gran especificidad no se pudiera ser observada durante el año de entrenamiento de nuestros levantadores de pesas de elite, cuando en el aumento en la fuerza máxima en sí era bastante limitado.

Sin embargo, los resultados presentados en las Figuras 2 y 6 indican que el fenómeno de especificidad del entrenamiento de sobrecarga puede ser similar, tanto en sujetos previamente desentrenados, como en deportistas de fuerza altamente entrenados.

En síntesis, los presentes resultados, que muestran solamente un limitado desarrollo de la fuerza, sugieren que la magnitud y el transcurso de las adaptaciones tanto neurológicas como hipertróficas en el sistema neuromuscular durante el entrenamiento de sobrecarga en los deportistas de fuerza pueden diferir de las adaptaciones reportadas en sujetos previamente desentrenados. De cualquier modo, los mecanismos reales del aumento de la fuerza entre los dos grupos de sujetos podrían ser básicamente los mismos. Los resultados sugieren además que la intensidad del entrenamiento tiene un rol importante para modificar cambios en la activación muscular máxima con alteraciones concomitantes en la fuerza muscular.

Agradecimientos. Este estudio fue respaldado, en parte, por becas otorgadas por el Ministerio de Educación de Finlandia, el Comité Olímpico Finlandés, la Federación Deportiva Central de Finlandia, el la Asociación Finlandesa de Levantamiento de Pesas, y la Federación de Trabajadores Deportivos de Finlandia.

REFERENCIAS

1. Asmussen E, Bonde-Peterse F (1974). Storage of elastic energy in skeletal muscle in man. *Aca Physiol Scand* 91:385-392
2. Bosco C, Komi PV (1979). Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand* 106:467-472
3. Durnin J, Rahaman M (1967). The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br J Nutr* 21:681-689
4. Gollnick P, Armstrong R, Saubert G, Piehl K, Saltin B (1972). Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol* 33:312-319
5. Houston M, Froese E, Valeriote St. Green H, Ranney D (1983). Muscle performance, morphology and metabolic capacity during strength and detraining: A one leg model. *Eur J Appl Physiol* 51:25-35
6. Ikai M (1970). Training of muscle strength and power in athletes. *Presented at the FIMS Congress, Oxford*
7. Komi PV (1973). A new electromechanical ergometer. In: Hauser G, Mellerowicz H (eds) 3. *Internationales Seminar fur Ergometrie, Ergon-Verlag, Berlin*, pp 173-176
8. Komi PV (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int J Sport Med (Suppl)* 7:10-15
9. Komi PV, Buskirk ER (1972). Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics* 15:417-434
10. Komi PV, Bosco C (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 10:261-265
11. Komi PV, Luhtanen P, Vijamaa K (1974). Measurement of instantaneous contact forces on the force-platform. Research Reports from the Department of Biology of Physical Activity No 5. *University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finland*
12. Komi PV, Viitasalo J, Rauramaa R, Vihko V (1978). Effect of isometric strength training on mechanical, electrical and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol* 40:45-55
13. Komi PV, Karsson J, Tesch P, Souminen H, Heikkinen E (1982). Effects of heavy resistance and explosive type strength training methods on mechanical, functional and metabolic aspects of performance. In: Komi PV (ed) *Exercise and sport biology. Human Kinetics Publishers, Champaign, III*, pp 90-102
14. MacDougall J, Elder G, Sale D, Moroz J, Sutton J (1977). Skeletal muscle hypertrophy and atrophy with respect to fibre type in

- humans. *Can J Appl Spt Sci* 2:229 (Abstract)
15. MacDougall J, Sale D, Elder G, Sutton J (1982). Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *Eur J Appl Physiol* 48: 117-126
 16. Moritani T, DeVries H (1979). Neuronal factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58: 115-130
 17. Oleshko V (1980). Determining control norms in assistant exercises for qualified weightlifters. *Determining control norms in assistant exercises for qualified weightlifters*
 18. Padykula H, Herman E (1955). The specificity of the histochemical method of adenosine triphosphatase. *J Histochem Cytochem* 3:170-195
 19. Sukop J, Nelson R (1974). Effect of isometric training on the force-time characteristics contraction. In: Nelson R, Morehouse C (eds.) *Biomechanics IV. University Park Press, Baltimore, pp 440-447*
 20. Tesch P, Larsson L (1982). Measurement of force-velocity characteristics for sportsmen in field conditions. In: Winter D, Norman R, Wells R, Haves K, Patla A (eds.) *Biomechanics IX-A. Human Kinetics Publishers, Champaign, III, pp 96-101*
 21. Viitasalo J, Komi PV (1978). Force-time characteristics and fiber composition in human leg extensor muscles. *Eur J Appl physiol* 40:7-15
 22. Komi PV (1980). Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 20:487-501