PubliCE, (PubliCE) 1991

Research

Importancia de las Acciones Excéntricas en las Adaptaciones del Rendimiento al Entrenamiento de la Fuerza

Gary A Dudley[1], Per A Tesch[3], Bruce J Miller[1] y Paul Buchanan[2]

[1]*Laboratorios de Biomedicina y Medio Ambiente, Corporación Bionetics, Centro Espacial Kennedy, Florida.*
[2]*Operaciones Biomédicas y Oficina de Investigación de la Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica, Florida.*
[3]*Laboratorio de Fisiología Ambiental, Departamento de Fisiología, Instituto Karolinska, Estocolmo, Suecia.*

RESUMEN

La incapacidad que presentan los ejercicios actualmente utilizados durante los vuelos espaciales para mantener la fuerza y la masa muscular podrían reflejar la ausencia de acciones musculares excéntricas (EXC). Este estudio examino la importancia de las acciones excéntricas en las adaptaciones del rendimiento al entrenamiento de fuerza. Un grupo de varones de mediana edad realizo 4-5 series de 6-12 repeticiones (rep) por serie de press de piernas y extensión de piernas, dos veces por semana durante 19 semanas. El grupo CON/EXC (n = 9) realizó cada repetición con acciones concéntricas (CON) y EXC, el grupo CON (n = 8) sólo con acciones concéntricas. El grupo CON/CON (n =10) realizó el doble de series sólo con acciones concéntricas. La resistencia en cada serie se eligió de manera que indujera a la fatiga dentro del número determinado de repeticiones. Ocho sujetos no entrenaron y sirvieron como grupo control. Por lo general, el incremento en en el valor de tres repeticiones máximas (3 RM) luego del entrenamiento mostro una jerarquía tal que CON/EXC >CON/CON >CON. Las diferencias (P<0.05) fueron: 3 RM de press de piernas con acciones CON y EXC; CON/EXC >CON/CON >CON (26> 15 > 8 %); 3 RM de press de piernas solo con acciones concéntricas, CON/EXC o CON/CON >CON (22 o 18 >14 %) y 3 RM de extensión de piernas con acciones con y exc, CON/EXC >CON (29 >16%). Estas diferencias (P<0.05) fueron aún evidentes luego de 1 mes de desentrenamiento. Los resultados indican que la omisión de acciones excéntricas en el entrenamiento de fuerza compromete el incremento de la fuerza, probablemente porque la intensidad no es óptima. Los autores sugieren espaciales deberían ser desarrollados equipamientos y prescripciones de ejercicio para ser usadas durante los vuelos espaciales para mantener la fuerza y la masa muscular, con la incorporación de acciones excéntricas.

Palabras Clave: entrenamiento, adaptaciones estructurales, sobrecarga, repeticiones máximas, unidades motoras

INTRODUCCIÓN

Está generalmente aceptado que la fuerza y la masa muscular en los seres humanos disminuye durante un vuelo espacial (3). Las disminuciones en la fuerza son mayores en las extremidades inferiores que en las superiores y en los grupos musculares extensores que en los flexores (11, 32). Las reducciones en el área o volumen transversal de las extremidades

luego de vuelos espaciales en seres humanos (3), y el hecho de que roedores que volaron en el espacio han mostrado una atrofia muscular (26, 30), sugieren que la masa muscular de las personas disminuye durante los vuelos orbitales (3).

Durante los viajes espaciales se han utilizado distintos aparatos para realizar ejercicios (3). Se han realizado ejercicios de resistencia en cinta y especialmente en la bicicleta ergométrica. En menor grado se han utilizado, para realizar ejercicios de fuerza, equipos Mini-Gym, juego Penguin, bandas elásticas, y ejercicios isométricos. Es difícil establecer la eficacia de la mayoría de estos aparatos debido a la variabilidad en su uso. Sin embargo, aparentemente no son del todo efectivos para mantener la masa muscular y la función neuromuscular (3).

No es sorprendente que el ejercicio de resistencia no sea completamente capaz de mantener la fuerza y la masa muscular durante los vuelos en el espacio. El ejercicio de fuerza y los ejercicios que no desarrollan la resistencia aeróbica, aumentan la fuerza y la masa muscular ante una atracción gravitatoria de 1 G (31). La idea que los ejercicios de fuerza deberían ser considerados para ser utilizados en el espacio esta respaldada por la observación de que una actividad de fuerza ha sido la más efectiva para mantener la masa muscular durante la suspensión de las extremidades en ratas (18).

El entrenamiento de fuerza comprende la realización de un número de series y repeticiones (rep) de diferentes ejercicios con pesos libres (31). El grupo muscular activo desarrolla grandes fuerzas durante la secuencia de acciones concéntricas (CON) y excéntricas (EXC). Obviamente, las pesas no se pueden utilizar durante los viajes espaciales debido a la falta de gravedad.

En el desarrollo de aparatos de fuerza para el uso en el espacio es importante determinar si deben brindar resistencia durante acciones CON y EXC. El hecho de que los ejercicios actualmente utilizados requieran la realización de acciones principalmente concéntricas podría explicar su ineficacia, Nosotros (2) y otros autores (12) hemos observado que utilizando ambos movimientos durante un entrenamiento de fuerza de corta duración se induce a mayores incrementos en la fuerza que cuando se realizan solo acciones concéntricas. Por el contrario, otros autores han sugerido que las mejorías en la fuerza son independientes del tipo de acción utilizada (19, 22). Estas respuestas divergentes podrían reflejar el tiempo de adaptación en los factores que limitan el aumento de la fuerza. Los factores neurológicos se adaptan principalmente durante las primeras 6-8 semanas de entrenamiento, mientras que la hipertrofia ocurre luego de este periodo (14, 24, 31).

Este estudio se llevó a cabo para examinar con mayor profundidad la importancia de los movimientos excéntricos en el entrenamiento de la resistencia. El diseño del mismo fue desarrollado luego del trabajo de Häkkinen y Komi (12). Ellos encontraron mayores incrementos en la fuerza luego de doce semanas de entrenamiento con movimientos CON y EXC, en comparación con el uso de sólo acciones CON, especialmente durante el último mes. Por lo tanto, nosotros ambientamos a nuestros sujetos durante un mes al entrenamiento de fuerza con el propósito de permitir las adaptaciones neurológicas "iniciales", y luego realizaron un entrenamiento intenso con movimientos sólo CON, o CON/EXC, durante 19 semanas para asegurar la hipertrofia (14, 24, 31).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos

De los 38 varones que se ofrecieron para participar en este estudio, 3 no finalizaron el mismo, 2 debido a que fueron transferidos en el trabajo y 1 por razones personales. Los 35 sujetos restantes tuvieron una edad promedio de 33 ±1 años (media ± DS), una talla de l77 ±1 cm, un peso corporal de 84 ±2 kg. La mayoría participaba en deportes recreacionales, pero ninguno realizaba entrenamientos de fuerza para el tren inferior. Cada sujeto dio su consentimiento por escrito para participar en el proyecto, después de haberles explicado el protocolo, el cual fue aprobado por el Comité de Revisión de Investigaciones con Seres Humanos del Centro Espacial Kennedy, Florida.

Diseño general

Todos los sujetos fueron ambientados al entrenamiento de resistencia durante un mes. Luego de una semana de descanso, se realizaron evaluaciones de la fuerza muscular, previas al entrenamiento. El lunes siguiente los sujetos comenzaron con el entrenamiento de fuerza correspondiente a los grupos a los cuales fueron asignados. Entrenaron durante 19 semanas, con una semana de descanso en la mitad del período de entrenamiento. Luego de la semana 19 tuvieron una semana de "tapering" o puesta a punto, y a la siguiente semana se reevaluó la fuerza muscular. Los sujetos dejaron de entrenar durante un mes, y luego se reiteraron evaluaciones de la fuerza muscular luego del período de desentrenamiento.

Evaluaciones de fuerza

Se determinaron, como se había hecho previamente (2), tres repeticiones máximas (3 RM) de press bilateral de piernas, en posición supina, y de extensión de piernas, unilateral, de la posición de sentado. Durante la ambientación y el entrenamiento se utilizó una resistencia por serie que estimaba las 3 RM. Los sujetos realizaban una serie de 3 rep. al 60,10, y 80% de las 3 RM estimadas, y una rep al 90 %. Luego se intentaban lograr las 3 RM estimadas. La resistencia se incrementaba de 5 a 10 kg y 2.5 kg, respectivamente; si el intento era exitoso en los ejercicios de press y extensión de piernas, se llevaban a cabo otros intentos hasta que no se pudieran llevar a cabo las tres repeticiones. La mayor carga a la cual se podían realizar tres repeticiones. Era considerada como 3 RM. Si no se podían realizar las 3 RM, se reducía la carga en el incremento dado anteriormente, y se llevaba a cabo un segundo intento. Entre intentos había una pausa de 3 min y de 15 min entre evaluaciones en los equipamientos de press de piernas y extensión de piernas. Para determinar las 3 RM se realizaban de 5 a 7 series.

Las 3 RM con acciones sólo CON eran determinadas cada miércoles en las sesiones de pre, post-entrenamiento, y desentrenamiento. El ejercicio de press de piernas (Universal, Modelo 3018) comenzaba con un ángulo en la articulación de la rodilla de 990°. El sujeto intentaba realizar tres acciones CON, cada una hasta la extensión completa de la pierna. Entre movimientos, el sujeto quitaba sus pies de la placa de apoyo y un cilindro hidráulico a una vía alineado con el "deslizador" disminuía la carga. El ejercicio de extensión de piernas (Nautilus, Modelo 4777) era realizado con la pierna izquierda, comenzando con un ángulo de 110º en la articulación de la rodilla. Se intentaban tres acciones CON, cada una hasta que el brazo de palanca estuviera paralelo al piso. Luego de cada movimiento, el sujeto quitaba sus pies y un cilindro hidráulico alineado con las pesas disminuía la carga.

Las 3 RM para cada ejercicio con acciones CON y EXC se llevaban a cabo los viernes de cada sesión de evaluación. Las evaluaciones se realizaron de la manera descripta anteriormente. Entre cada repetición había una pausa de 1 segundo para asegurar que el ciclo estiramiento-acortamiento no incrementara la fuerza para la siguiente acción CON (1). Para las evaluaciones, tanto con acciones CON como movimientos CON y EXC, la carga se aumentaba o disminuía en 1 segundo. Las evaluaciones con movimientos solamente CON se llevaron a cabo 2 días antes que las evaluaciones CON y EXC, debido a que la actividad muscular CON que precede a un ejercicio EXC no perjudica al rendimiento excéntrico (21).

Ambientación

Todos los sujetos fueron familiarizados con el entrenamiento de resistencia tres veces por semana (en días alternados), durante un mes. Cada sesión consistía de tres series de press de piernas y de extensión de piernas con 10 a 12 reps por serie. Para cada repetición se llevaron a cabo acciones CON y EXC de la manera descripta para las evaluaciones de 3 RM. Para el ejercicio de extensión de piernas se alternaban las series de manera de hacer una con cada pierna. La carga por serie fue gradualmente aumentada de manera de minimizar el daño y dolor muscular, y se eligió de tal modo que indujera a la fatiga dentro del número estimado de repeticiones durante la semana 4. Los sujetos del grupo control fueron re-familiarizados la semana anterior a las evaluaciones post-entrenamiento y luego del desentrenamiento de la fuerza muscular.

Entrenamiento de resistencia

Los sujetos fueron ubicados en cuatro grupos en base a sus 3 RM antes del entrenamiento y a su peso corporal. El grupo CON/EXC (n=9) realizo los ejercicios de press de piernas y de extensión de piernas con movimientos tanto CON como EXC. El grupo CON (n= 8) realizó los mismos ejercicios sólo con acciones CON. Estos grupos realizaban 4-5 series de cada ejercicio con 6-12 reps por serie, dos veces por semana. El grupo CON/CON (n= 10) llevaba a cabo 8-10 series de cada ejercicio con 6-12 reps por serie, dos veces semanales. Los días de entrenamiento estaban separados por un período de 72-96 horas. Cada sujeto completó al menos 34 de las 38 sesiones de entrenamiento. Ocho sujetos no entrenaron, y sirvieron como grupo control. Durante el transcurso del estudio, todos mantuvieron su nivel normal de actividad física.

Cada serie de entrenamiento de press de piernas y extensión de piernas se realizaba hasta el agotamiento, luego de una sede de entrada en calor. Esto se hizo seleccionando una resistencia que permitiera la realización del número estimado de repeticiones. El número de repeticiones por serie fue reducido de manera uniforme a través de los grupos de entrenamiento, de 10 a 12 para las primeras 8 semanas, a 6 a 8 para las últimas 6 semanas, para asegurar una intensidad en constante aumento. Con el fin de mantener la carga total, el número de series diarias de cada ejercicio se incremento de 4 a 5 (grupos CON/EXC y CON), o de 5 a 10 (grupo CON/CON), durante las últimas 5 semanas de entrenamiento En cada sesión de entrenamiento se realizaba primero el press de piernas y luego el ejercicio de extensión. Para la extensión de piernas las series se alternaban entre la pierna izquierda y derecha. Las repeticiones se realizaban de la forma descripta para las evaluaciones de 3 RM. Todas las sesiones de entrenamiento estuvieron supervisadas y se registraron las reps. para cada serie.

Análisis de Datos

Se determino la resistencia vertical (carga) para el press de piernas y la resistencia real provista por las pesas para la

extensión de piernas. Esto se realizó colocando un compartimiento de carga en línea con el "deslizador" del aparato de press de piernas y con el brazo de palanca de la máquina de extensión de piernas. Para el press de piernas se observó que el "deslizador" imponía una resistencia vertical de 47 Kg. La fuerza presentada para una determinada carga de entrenamiento era esencialmente la misma, sea que fuera elevada o disminuida. Esto indicaba que la resistencia interna al movimiento era insignificante. Por lo tanto, la resistencia vertical era la misma para las acciones CON o EXC, y era obtenida agregando 47 Kg. más de peso a la máquina por veces 0.707, seno del ángulo por sobre la horizontal (45 º). La resistencia impuesta por el aparato de extensión de piernas fue marcadamente menor para la disminución que para la elevación de un determinado peso debido a la resistencia interna al movimiento. Luego de modificar la máquina agregando soportes en todos los ángulos de rotación y removiendo la leva, la resistencia interna se redujo a 5 Kg. Por lo tanto, se agregaron 5 kg a las pesas para determinar la resistencia real para la máquina de extensión de piernas.

Para cada ejercicio se obtuvieron valores semanales de carga por serie, reps. por serie, carga total por serie (reps. por serie x carga por serie), y carga total por día (suma de reps. por serie x resistencia por serie), promediando los valores de las dos sesiones por semana. Para el ejercicio de extensión de piernas se promediaron los datos de las extremidades derecha e izquierda. Para determinar la resistencia por serie para el grupo CON/EXC se sumaron las resistencias CON y EXC.

Análisis Estadísticos

Los datos de 3 RM para el "press" de piernas y para extensión de piernas fueron analizados con un análisis de variancia a dos vías (grupo x tiempo), con mediciones repetidas a través del tiempo. Se utilizo un test LSD (menor diferencia significativa) de Fisher para comparaciones de tiempo x tratamiento, donde se observaba una interacción significativa. Esto se hizo para cada ejercicio realizado con movimientos sólo CON o CON y EXC. El cambio con el tiempo en los datos de entrenamiento fue comparado a través de los tres grupos para cada ejercicio, utilizando un análisis de variancia (grupo x tiempo) con mediciones repetidas de los sujetos. Cuando se observa una interacción significativa, el componente lineal, cuadrático, o cúbico de la relación entre el tiempo y una variable determinada era contrastado entre los grupos. También se llevaron a cabo análisis para determinar si los incrementos en las 3 RM estaban relacionados con cambios en la resistencia utilizada durante el entrenamiento. Utilizando una regresión lineal se determino, para cada sujeto, la pendiente lineal de la relación entre tiempo y carga por serie, carga total por serie o carga total por día El incremento en las 3 RM se desarrollaba versus estas pendientes por grupo de entrenamiento, y por carga total para cada ejercicio, con acciones solamente CON, o CON y EXC.

RESULTADOS

Evaluaciones de Fuerza

Como se muestra en la Figura 1, el incremento (P<0.05) en las 3 RM cuando el press de piernas se realizó con movimientos CON y EXC, fue mayor (P<0,05) para el grupo CON/EXC (26 ±5%) que para el grupo CON/CON (15 ±4%) al final del entrenamiento. El grupo CON no mostró un aumento significativo (8 ±3%; P >0.05). Con el desentrenamiento, los grupos CON/EXC y CON/CON fueron aun más fuertes que antes del entrenamiento (20 ±5 y 14 ±4%, respectivamente; P<0.05) . Los grupos CON/EXC y CON/CON presentaron incrementos similares luego del entrenamiento (22 ±3 y 18 ±5%, respectivamente, P<0.05) en las 3 RM cuando el "press" de piernas se realizo solo con movimientos CON. El aumento (P<0.05) para el grupo CON (12 ±4%) fue significativamente menor. Luego del desentrenamiento, los grupos CON/EXC y CON/CON seguían siendo más fuertes que en el pre-entrenamiento (19 ±3 y 14 ±6 %, respectivamente), mientras que no sucedió lo mismo con el grupo CON (6 ±5%, P >005).

Como se muestra en Figura 2, el incremento (P<0.05) en las 3 RM luego del entrenamiento, con la extensión de piernas con movimientos CON y EXC, fue mayor para el grupo CON/EXC (29 ±2%) que para el grupo CON (16 ±2%) El aumento (P <0.05) para el grupo CON/CON (24 ±1 %) estuvo entre estas respuestas. Los incrementos en la fuerza inducidos por el entrenamiento se observaron aún luego del desentrenamiento en los tres grupos, habiendo aun una diferencia significativa entre los grupos CON/EXC y CON (20 ±2 vs. 10 ±2 %). El aumento (P<0.05) en las 3 RM para el ejercicio de extensión de piernas realizado solo con acciones CON para los grupos CON/EXC, CON/CON y CON, tanto luego del entrenamiento como del desentrenamiento (33 ±1, 31 ±1, y 24 ±2% y 25 ±2, 22 ±1 y 14 ±3, respectivamente) mostró una jerarquía similar a otras evaluaciones de fuerza. Sin embargo, los incrementos para cada momento, no fueron diferentes entre los grupos (P >0.05). Los aumentos en la fuerza no estuvieron relacionados con los niveles iniciales. El grupo control no presento ningún cambio (Figuras 1 y 2).

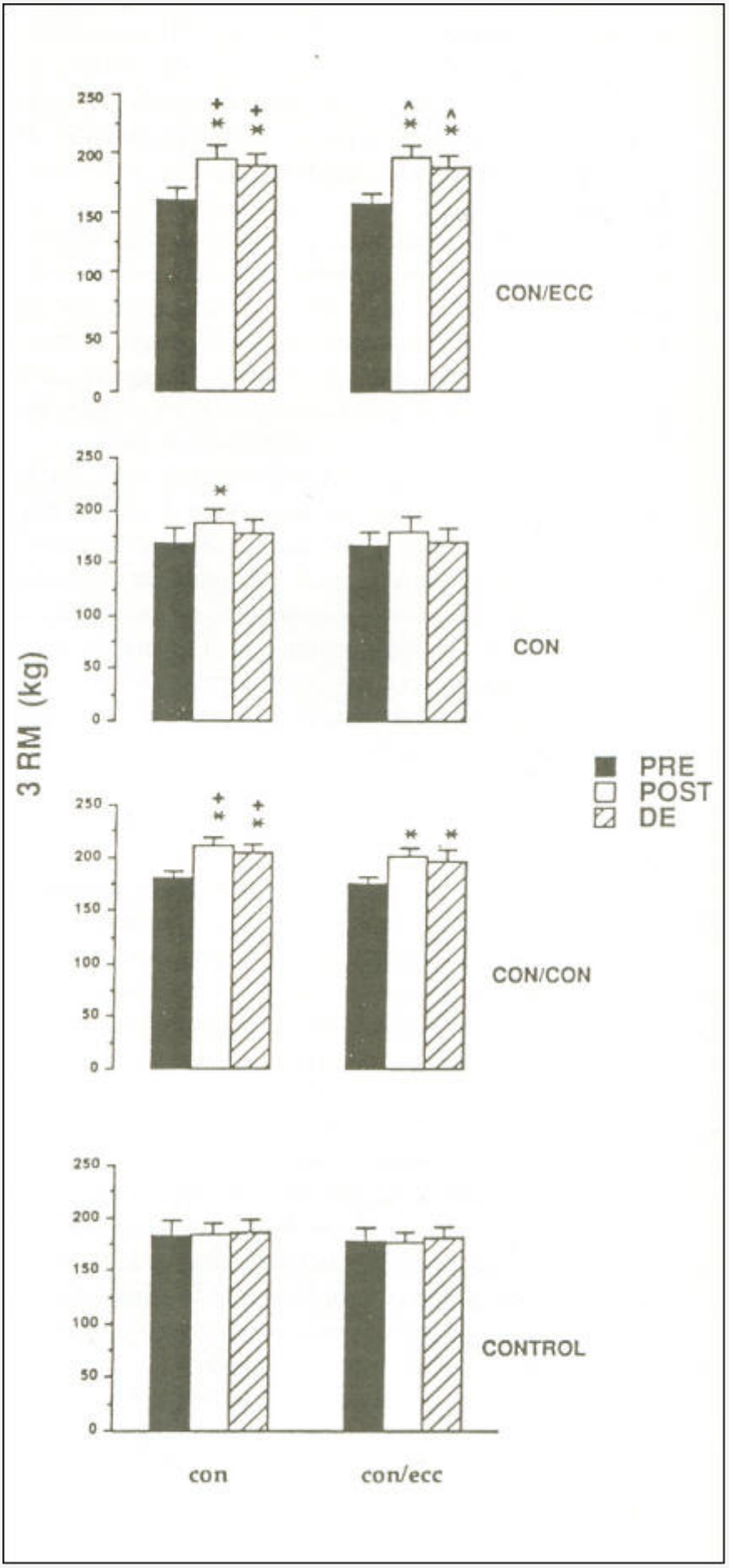
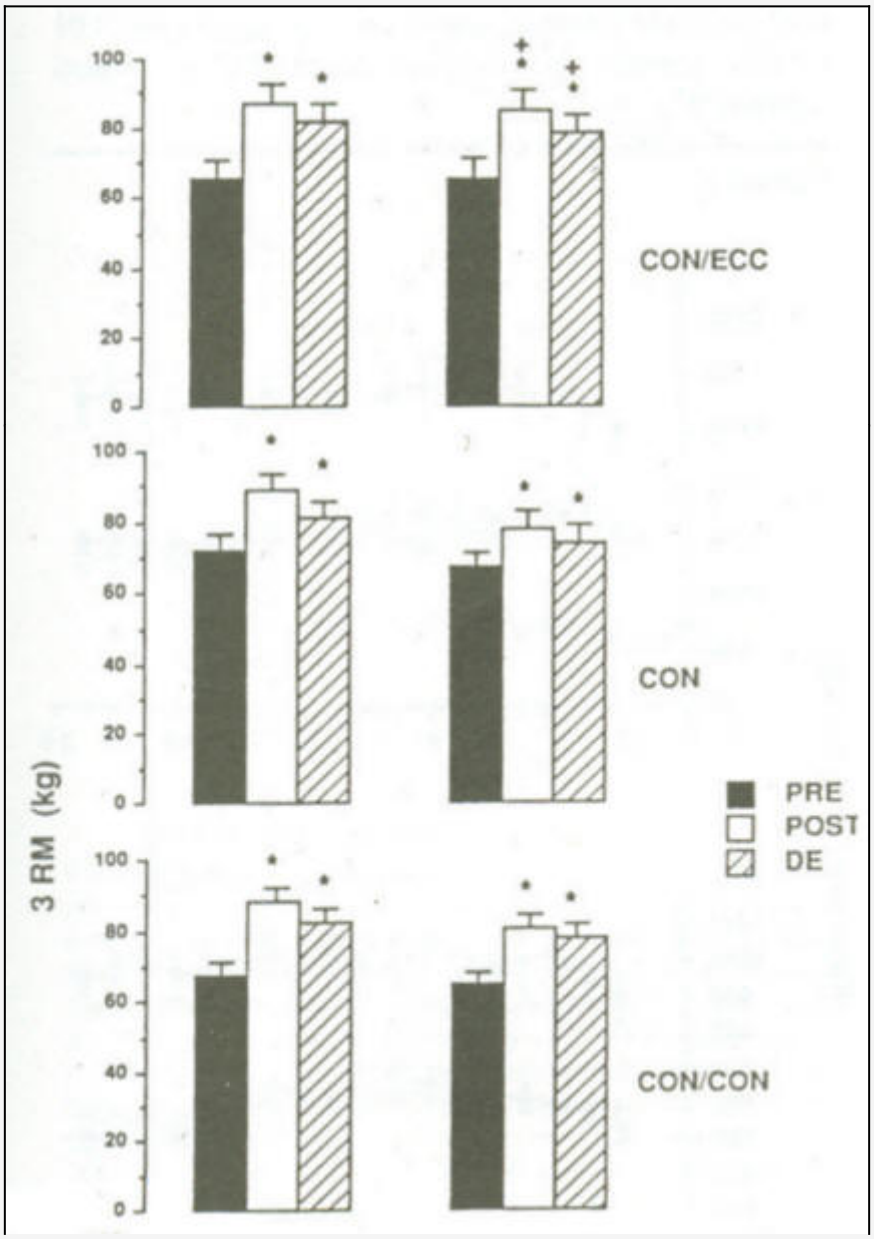

3 RM (kg)
250
200
150
100
50
0
CON/ECC
CON
CON/CON
CONTROL
PRE
POST
DE
con
con/ecc

Figura 1. *Gráfico de las 3 RM (media ±DS) para el ejercicio de press de piernas con movimientos solo CON o CON y EXC, antes (PRE) y después (POST) de 19 semanas de entrenamiento de fuerza con acciones CON y EXC (grupo CON/EXC), o sólo con acciones CON (grupos CON y CON/CON), y luego de 1 mes de desentrenamiento (DE). CONTROL = grupo control; * = incremento por sobre el valor de pre-entrenamiento (P <0.05); + = mayor aumento que el grupo CON (P <0.05); ^ = mayor aumento que los grupos CON o CON/CON (P <0.05).*



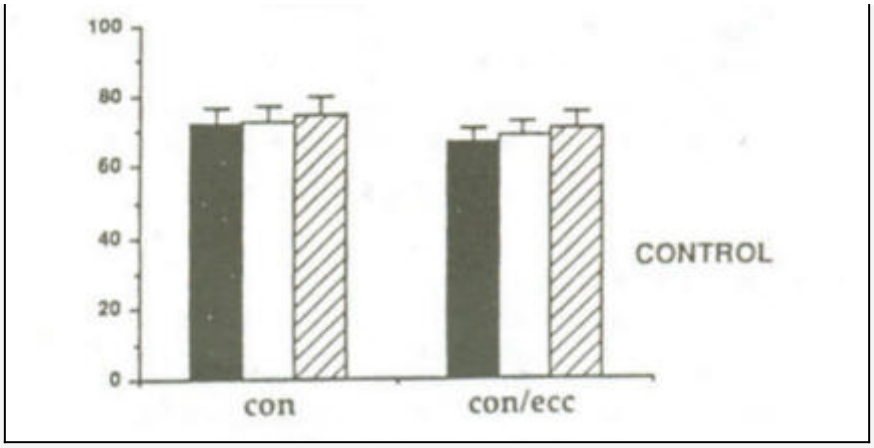


Figura 2. *Gráfico de las 3 RM (media ±DS) para el ejercicio de extensión de piernas con movimientos sólo CON o CON y EXC, antes (PRE) y después (POST) del entrenamiento, y luego de 1 mes de desentrenamiento (DE) para los grupos CON/EXC, CON, CON/CON y CONTROL. * = incremento por sobre el valor de pre-entrenamiento (P<0.05); + = mayor aumento que el grupo CON (P<0.05).*

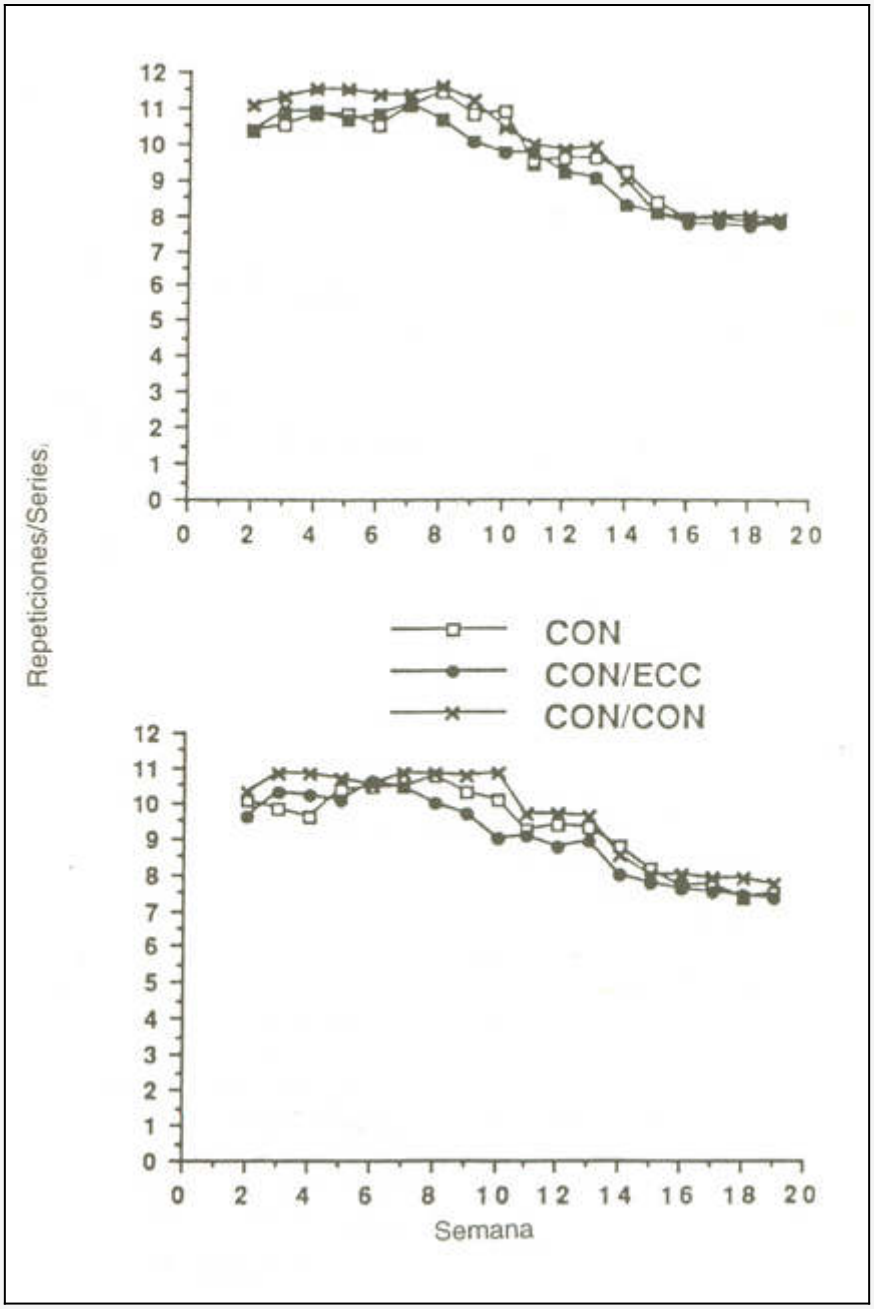


Figura 3. *Valores semanales (media ±DS) de las repeticiones por serie, graficadas en función de la semana de entrenamiento. Los DS están dentro de los símbolos. Los datos se ubican en polinomios cúbicos con componentes similares para los grupos CON/EXC, CON/CON, y CON, respectivamente, con el ejercicio de press de banca (figura superior): y = 9.188 + 0.591 (sem) - 0.082 (sem^2) + 0.002 (sem2); y = 8.974 + 0.809 (sem) - 0.094 (sem2) + 0.002 (sem3): e y = 8.119 + 0.829 (sem) - 0.086 (sem2) + 0.002 (sem^3); y para el ejercicio de extensión de piernas (figura superior): y = 9.993 + 0.791 (sem) - 0.103 (sem^2) + 0.003 (sem3): y = 9.604 + 0.875 (sem) - 0.107 (sem^2) + 0.003 (sem^3); e y = 9.091 + 0.7171 (sem) - 0.087 (sem2) + 0.002 (sem^3); e y = 9.091 + 0.771 (sem) - 0.087 (sem^2) + 0.002 (sem^3). (P < al menos 0.005 para todos los componentes).*

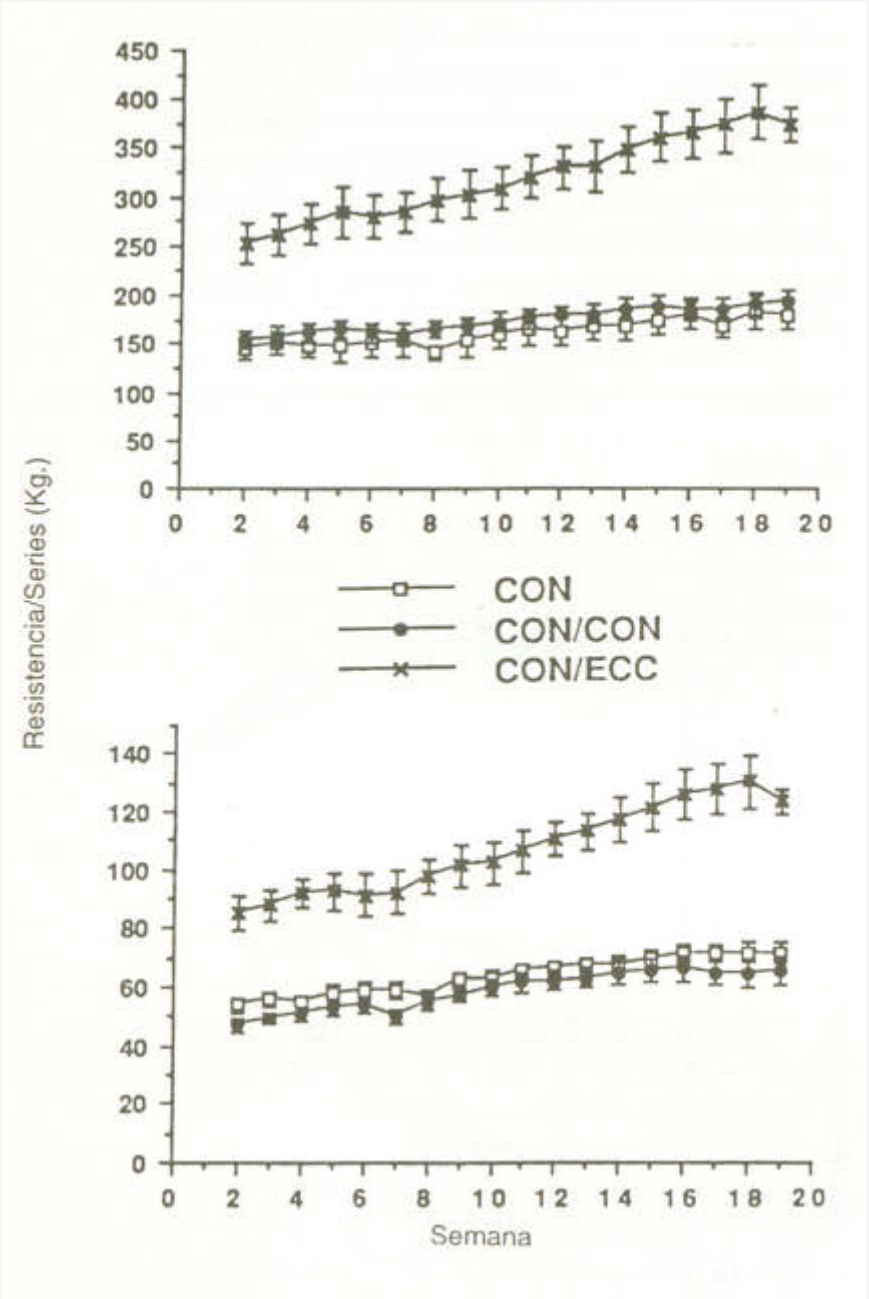


Figura 4. *Valores semanales (media ±DS) de la carga por serie, graficada en relación a la semana de entrenamiento de fuerza. La carga por serie estuvo linealmente correlacionada con la duración del entrenamiento para los grupos CON/EXC, CON/CON y CON, respectivamente, tanto para el ejercicio de press de piernas (figura superior): y =236 Kg. + 7.9 (sem); y =149 Kg. + 2.4 (sem); e y = 137 Kg. + 2.2 (sem), como para el ejercicio de extensión de piernas (figura inferior): y = 78 Kg. + 2.4 (sem); y = 46 + 1.2 (sem); e y = 51 Kg. + 1.2 (sem). (P)*

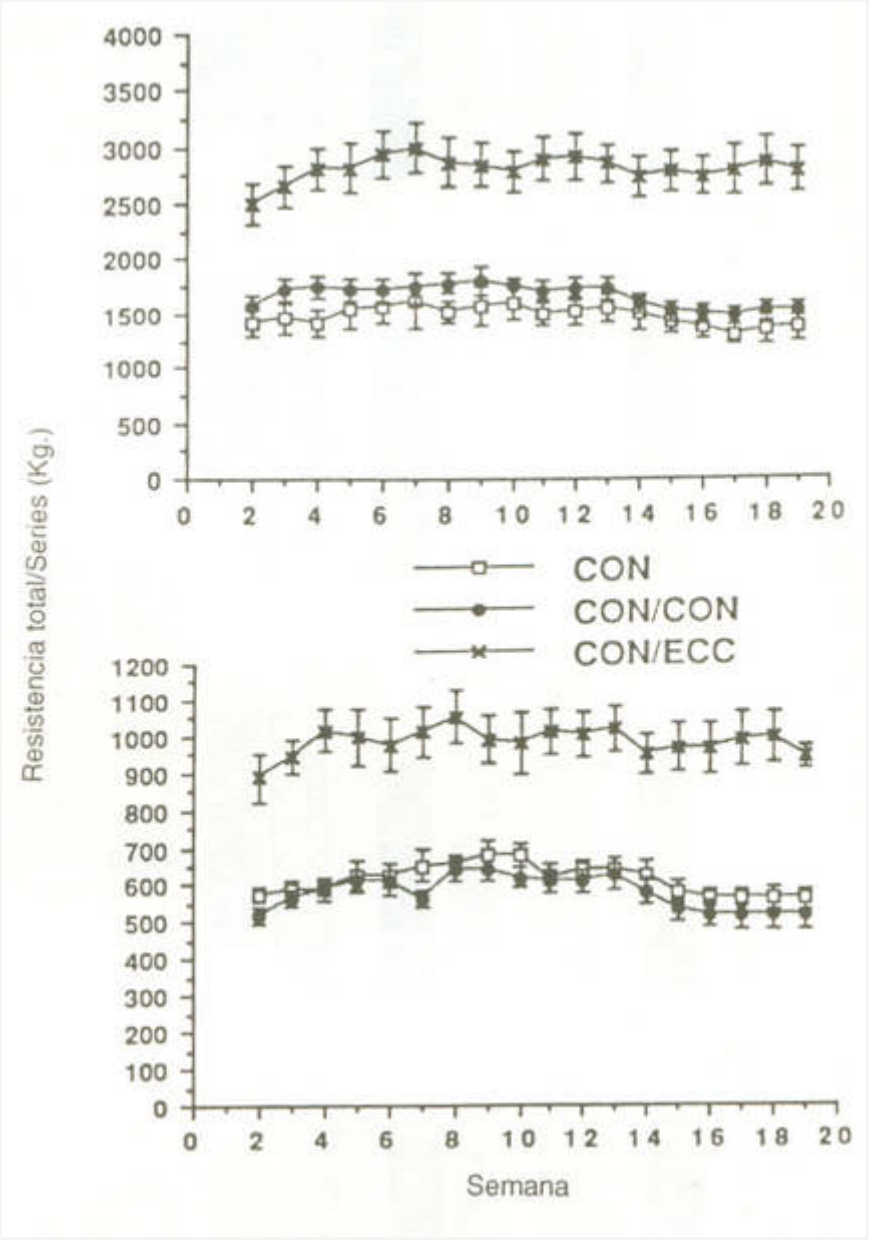


Figura 5. *Valores semanas (media ±DS) de la carga total por serie, graficada en función de la duración del entrenamiento de fuerza. Los datos del press de piernas (superior) se ubican en un polinomio cuadrático para los grupos CON/CON, y CON: y = 1.588 Kg. + 41 (sem) - 3 (sem^2); e y = 1.339 Kg. + 49 (sem) - 3 (sem^2), respectivamente (P al menos <0.05 para todos los componentes); y un exponencial negativo para el grupo CON/EXC, y = 2.845 Kg. (1 - Exp $^{(-1.03* sem)}$. Esto también fue cierto para la extensión de piernas (figura inferior): y = 489 Kg. + 28 (sem) - 1.5 (sem^2); e y = 527 Kg. + 26 (sem) - 1.3 (sem^2), respectivamente (p <0.001 para todos los componentes); e y = 939 Kg. $^{(1.04* sem)}$.*

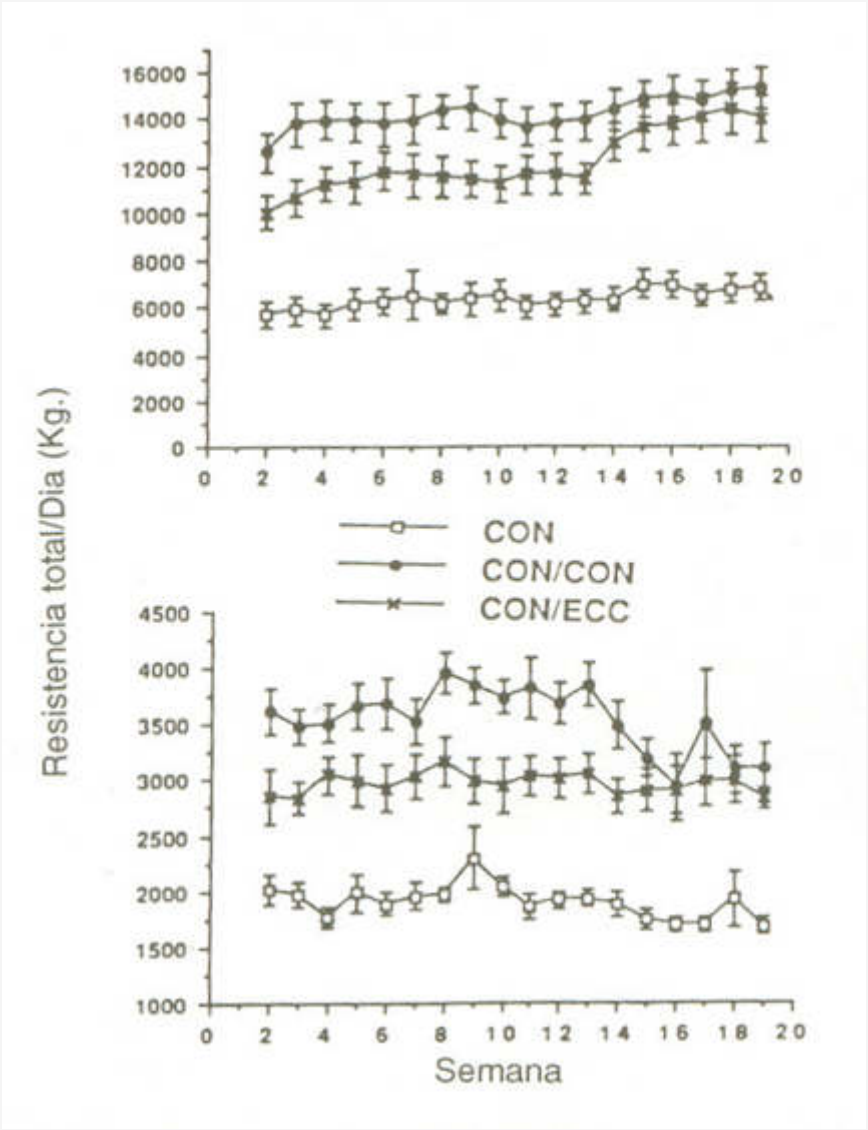


Figura 6. *Valores semanales (media ±DS) de la carga total por día, graficada en función de la duración del entrenamiento. La tasa de aumento para el press de piernas (arriba) estuvo linealmente relacionada con la duración y mostró una jerarquía de respuestas a través de los grupos, CON/EXC > CON/CON > CON (P <0.05); y = 9.790 Kg. + 220 (sem), y = 13.155 Kg. + 97 (sem), e y = 5.704 Kg. + 57 (sem), respectivamente (P < al menos 0.02 para todos los componentes). Para la extensión de piernas (abajo), los grupos CON/CON y CON mostraron relaciones negativas, y = 3.837 Kg. - 28 (sem), e y = 2.045 Kg. - 14 (sem), respectivamente (P < al menos 0.02 para todos los componentes); mientras que el grupo CON/EXC no mostró ningún cambio con el tiempo, y = 2.593 Kg. + 6 (sem) (P = 0.47 para la pendiente).*

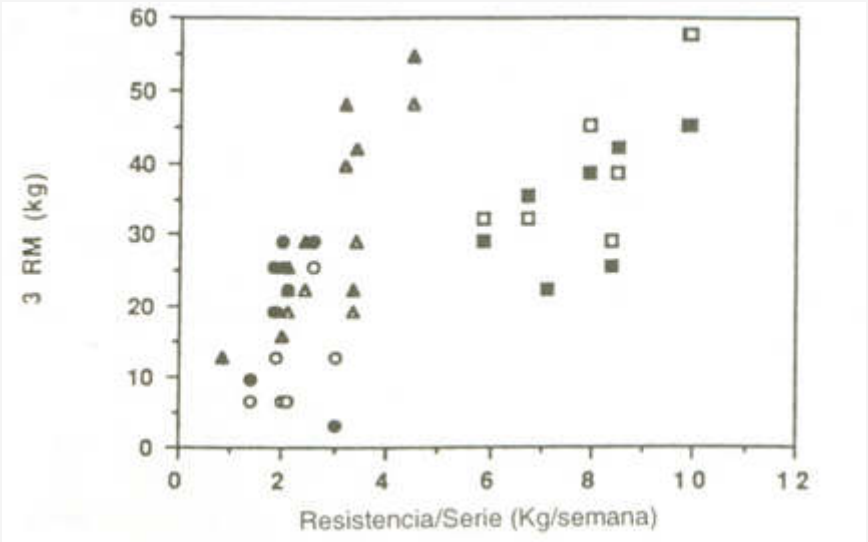


***Figura 7**. Incremento inducido por el ejercicio en las 3 RM de press de piernas, graficado en función de la tasa de aumento en los valores semanales de carga por serie utilizada durante el entrenamiento. Los símbolos (□ Δ o) reflejan los datos de los grupos CON/EXC, CON/CON, y CON, respectivamente, para las 3 RM con movimientos CON y EXC. En general, los datos tuvieron una lata correlación (r parcial = 0.766, P <0.0001). Las relaciones por grupo fueron: y= -18.7 Kg. + 7.2 (b) (P <0.02); y = 1.59 Kg. + 9.0 (b) (P <0.004); e y = 1.3 Kg. + 5.5 (b) (P =0.36), respectivamente, en donde b es igual a la tasa de aumento en la carga por serie. Los símbolos (■▲●) reflejan los datos de las 3 RM con acciones solamente CON. En general, los datos estuvieron relacionados (r parcial = 0.59, P <0.035). Las relaciones de los grupos fueron: y = 1.5 Kg. + 4.1 (b) (P = 0.059): y = 10.7 Kg. + 3.5 (b) (P <0.004); e y = 27 Kg. - 3.3 (b) (P <0.69), respectivamente.*

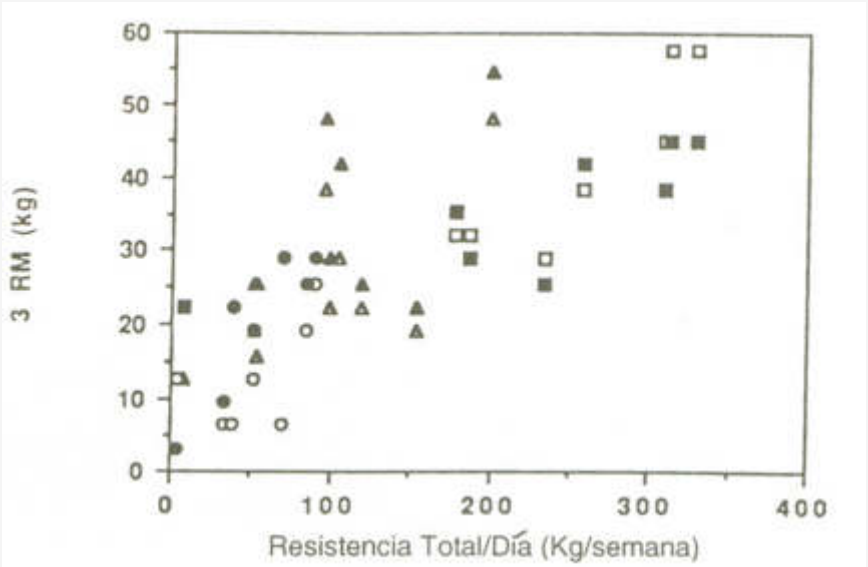


***Figura 8**. Incremento inducido por el ejercicio en las 3 RM de press de piernas, graficado en función de la tasa de aumento en los valores semanales de la carga total por día utilizada durante el entrenamiento. Los símbolos (□ Δ o) reflejan los datos de los grupos CON/EXC, CON/CON, y CON, respectivamente, para las 3 RM con movimientos CON y EXC. En general, los datos tuvieron una lata correlación (r parcial = 0.75, P <0.00001). Las relaciones por grupo fueron: y= 15 Kg. + 0.105 (b) (P <0.008); y = 11 Kg. + 0.142 (b) (P <0.03); e y = 5.6 Kg. + 0.137 (b) (P =0.18), respectivamente, en donde b es igual a la tasa de aumento en la carga total por día. Los símbolos (■▲●) reflejan los datos de las 3 RM con acciones solamente CON. En general, los datos estuvieron relacionados (r parcial = 0.65, P <0.001). Las relaciones de los grupos fueron: y = 19 Kg. + 0.068 (b) (P = 0.013): y = 16 Kg. + 0.151 (b) (P <0.06); e y = 4.2 Kg. - 0.294 (b) (P <0.004), respectivamente.*

Datos sobre el Entrenamiento

En general, las repeticiones por serie para el press de piernas fueron levemente mayores (P<0.05) para el grupo CON/CON (9.6 ±0.1) que para los grupos CON (9.3 ±0.1). Para la extensión de piernas, los valores fueron diferentes (P<0.05) entre los grupos (10.0 ±0.1, 9.7 ±0.1, y 9.4 ±0.1, respectivamente). La relación entre la duración del entrenamiento y los valores semanales de las repeticiones por serie fue semejante entre los grupos (Fig. 3). Las repeticiones por serie aumentaron levemente, disminuyeron, y luego se nivelaron. La tasa de aumento (P<0.05) en la resistencia por serie durante en entrenamiento fue mayor (P<0.05) para el grupo CON/EXC que para los otros dos grupos, tanto para los ejercicios de press de piernas o de extensión de piernas (Figura 4).

Los valores semanales de la resistencia total por serie aumentaron levemente, y luego disminuyeron, durante el entrenamiento para los grupos CON/CON y CON en los ejercicios de press de piernas y extensión de piernas (Figura 5). Por el contrario, el grupo CON/EXC mostró un modesto incremento que se mantuvo con el tiempo (Figura 5). La tasa de aumento de resistencia total por un día durante el entrenamiento de press de piernas fue diferente (P<0.05) entre los tres grupos, siendo la jerarquía CON/EXC >CON/CON >CON (Figura 6.). La carga diaria total para la extensión de piernas en realidad disminuyo (p< 0.05) durante el entrenamiento en los grupos CON/EXC no mostró cambios (Figura 6).

En general, el incremento inducido por el ejercicio en las 3 RM para el press de piernas estuvo relacionado de manera positiva con la tasa de aumento de la carga por serie, o la carga total diaria utilizada durante el entrenamiento en esta máquina (Figuras 6, 7 y 8). Esto fue especialmente cierto para las 3 RM con movimientos CON y EXC y refleja las relaciones individuales significativas observadas en los grupos CON/EXC y CON/CON. El incremento en las 3 RM del press de piernas estuvo pobremente relacionado (P<0.05) con el cambio en la carga total por serie utilizada durante el entrenamiento (datos no presentados), probablemente debido a que esta variable mostró una reducción en los grupos CON/CON y CON (Figura 5) en las 3RM de la extensión de piernas se obtuvieron datos similares, pero con el fin de ser breves, los datos no son presentados.

DISCUSIÓN

El interés en el presente estudio surgió a partir de varias observaciones. Lo más notable es el objetivo de que seres humanos ocupen, hacia el final de esta década, la Estación Espacial Freedom durante períodos de seis meses. Existen suficientes datos que indican que podría producirse una considerable atrofia y disfunción muscular (3). Claramente, los ejercicios utilizados en el espacio no han sabido mantener la función neuromuscular, ni probablemente la masa muscular. Quizás esto haya sido así debido a que se han realizado ejercicios principalmente de resistencia. La falta de movimientos excéntricos también pudo ser responsable de esta ineficacia. Durante la mayoría de las actividades físicas a 1 G se producen secuencias reiteradas de acciones CON y EXC (23).

Es nuestra impresión, a la luz de estas observaciones, que los ejercicios de fuerza deberían ser considerados seriamente para su utilización en vuelos espaciales. Tal entrenamiento a 1 G induce a cambios sorprendentes en la fuerza y masa muscular (31). A pesar de que durante algún tiempo se ha indicado que el entrenamiento en con movimientos, tanto CON como EXC, brinda el mayor estímulo de acondicionamiento (12), hubo muy pocos datos que respaldaran el valor de las acciones EXC. El presente estudio se llevó a cabo para ahondar con más detalle en este lema, debido a que el requerimiento de un aparato para el uso en el espacio brinde al menos una resistencia similar durante acciones CON y EXC, necesitará el desarrollo de un nuevo ergómetro. Las máquinas comerciales actualmente disponibles necesitan de un aporte externo de energía y/o del uso de cilindros llenados con líquido. Ninguna de estas características es útil para una estación espacial.

Los resultados de este estudio muestran claramente la superioridad del entrenamiento de resistencia con movimientos CON y EXC sobre las acciones solamente CON. Esto fue especialmente cierto cuando fueron compararlos los grupos CON/EXC y CON, los cuales llevaron a cabo el mismo número de series y repeticiones, en el mismo período de tiempo durante el entrenamiento. El grupo CON/EXC mostró mayores aumentos en las 3 RM del press de piernas y extensión de piernas, con acciones CON y EXC y en el press de piernas con acciones solamente CON (Figuras 1 y 2). Los mayores incrementos en la fuerza se mantuvieron luego de un mes de desentrenamiento (Figuras 1 y 2) estos resultados se agregan a los reportados previamente por otros autores (1 2), y más recientemente por nosotros (2).

Los mecanismos responsables del mayor aumento en la fuerza luego del entrenamiento con acciones CON y EXC no son del todo claros. Se ha sugerido que la realización de ambos movimientos lleva la intensidad de entrenamiento al máximo, brindando la resistencia óptima por repetición (29). Los resultados del presente estudio respaldan esta idea. El grupo CON/EXC mostró una mayor tasa de incremento en la carga por serie durante el entrenamiento que el grupo CON (Figura 4). También fueron capaces de mantener la carga total por serie cuando el número de repeticiones por serie disminuía con el transcurso del entrenamiento, mientras que no ocurrió lo mismo con el grupo CON (Figuras 3 y 5). Además, mostraron

una mayor tasa de aumento en la carga diaria total que el grupo CON para el press de piernas, y mantuvieron esa variable en la extensión de piernas, mientras que el grupo CON no pudo (Figura 6).

Estas respuestas diferentes en los datos de entrenamiento también fueron evidentes entre los grupos CON/EXC y CON/CON, aún a pesar de que este último realizó el doble de series durante el entrenamiento (Figura 4,5, y 6). Si bien la oportunidad de entrenar contra una mayor resistencia total diaria sólo con acciones CON resulte en mayores aumentos en las 3 RM (Figuras 1 y 2), la importancia de la resistencia por serie utilizada durante el entrenamiento está reflejada por el hecho que el grupo CON/EXC mostró un mayor incremento en las 3 RM de press de piernas con movimientos CON y EXC que el grupo CON/CON (Figura 1). Además, hubo una jerarquía de aumento en las 3 RM en todos las evaluaciones, de tal modo que el grupo CON/EXC >CON/CON >CON, tanto luego del entrenamiento como en el desentrenamiento (Figuras 1 y 2).

No está totalmente claro cuáles son los mecanismos fisiológicos responsables del importante rol que cumplen los movimientos EXC en el entrenamiento de resistencia. Nosotros hemos observarlo que las acciones EXC máximas mejoran las adaptaciones neurológicas al entrenamiento de resistencia (2). Ellas podrían aumentar la activación central, la sincronización de unidades motoras (24), y/o disminuir el ingreso ("input") de los reflejos inhibitorios neurológicos (13), los cuales limitan la fuerza en sujetos desentrenados (7).

La resistencia impuesta por los aparatos en este estudio fue esencialmente la misma para los movimientos CON y EXC. En base a la relación velocidad-torque de los extensores de la rodilla para sujetos desentrenados (7), y al hecho de que la resistencia utilizada en el entrenamiento fue establecida por las acciones CON, la resistencia EXC no fue máxima. Fue casi del 50%, dado que un arco de 90° era recorrido en casi 1 segundo (7). Por qué, entonces, el uso de acciones CON y EXC, como se hizo en este estudio no podría inducir a mayores adaptaciones neurológicas al entrenamiento que usando solamente movimientos CON. Es difícil para sujetos desentrenados activar al máximo las unidades motoras rápidas (4). Sin embargo, se ha reportado que estas unidades motoras son preferentemente reclutadas durante acciones EXC sub-máximas (28). Por lo tanto, el uso de movimientos CON y EXC podría mejorar la capacidad de activar estas fibras rápidas y, por lo tanto, provocar mayores aumentos en la fuerza. A pesar que no teníamos datos objetivos que respalden esta idea, nosotros observamos un cambio impresionante en la habilidad, especialmente del grupo CON/CON, de realizar las evaluaciones de 3 RM con movimientos CON y EXC luego del entrenamiento. Este grupo tuvo extrema dificultad en bajar la carga de manera suave y coordinada. Por el contrario, realizaban un movimiento entrecortado e invariablemente dejarían caer la carga, casi al final del rango de movimiento.

Los resultados del presente estudio parecen estar en desacuerdo con varios trabajos de investigación que indican que los incrementos en la fuerza no dependen del tipo de movimiento realizado (9, 20, 22). Sin embargo los datos de Johnson y cols. (20), y de Jones y Rutherford (22), son difíciles de interpretar debido a que se utilizaron los mismos sujetos para comparar las respuestas al entrenamiento con movimientos CON o EXC. Una pierna era utilizada para realizar los movimientos EXC y la otra para las acciones CON, aún a pesar de que está bien documentado que el entrenamiento unilateral aumenta la fuerza del miembro unilateral (16, 27). Hortobágyi y Katch (19) hicieron realizar a un grupo de sujetos movimientos EXC y CON con pesas, o acciones solamente concéntricas con máquinas que brindaban una resistencia a través de cilindros hidráulicos. Llegaron a la conclusión, después de 12 semanas de entrenamiento de resistencia de que las acciones CON limitan el desarrollo de la fuerza. Es interesante mencionar que el 70% que aumento en la fuerza se produjo durante las primeras 6 semanas de entrenamiento. Por lo tanto, sus resultados apoyan en realidad la idea de que es difícil establecer la superioridad de un determinado tipo de ejercicio durante el entrenamiento de fuerza de corta duración, debido a que se puede inducir un marcado aumento en la fuerza con casi cualquier método, siempre y cuando se desarrolle la misma en niveles por sobre los normales (12, 24).

Por lo general se cree (15. 17), a pesar de que a veces se refuta (22), que la magnitud de la carga es importante para incrementar la fuerza por medio del entrenamiento de fuerza. Los resultados del presente estudio, hasta donde llega nuestro conocimiento, son los primeros en mostrar que el incremento en la fuerza estuvo positivamente correlacionado con la tasa de cambio en la carga utilizada durante el entrenamiento (Figura 7). Sin embargo debe existir alguna relación entre la intensidad y el volumen de entrenamiento, de tal modo que el volumen también afecte los aumentos en la fuerza. Esto ha sido demostrado por las adaptaciones bioquímicas del músculo esquelético como resultado del entrenamiento de resistencia (5). Nosotros observamos, apoyando esta idea, que el aumento de la fuerza también estuvo positivamente correlacionado con la casa de incremento en la carga total diaria durante el entrenamiento (Figura 8).

Greenleaf y cols. (10) han reportado recientemente que el ejercicio de resistencia con acciones CON, en máquinas isoquinéticas, mantenía la fuerza durante 30 días de reposo en cama. Sin embargo, sus resultados son difíciles de interpretar debido a que los sujetos del grupo control no presentaron una disminución significativa de la fuerza. Esta respuesta discrepa con los informes de muchos otros estudios con reposo en cama (6, 8, 9, 25). Por lo tanto, en realidad aún permanece sin establecerse la capacidad de los ejercicios de resistencia con acciones CON y/o EXC para mantener la fuerza durante períodos de falta de carga muscular.

En resumen, los resultados del presente estudio indican que el entrenamiento de resistencia con acciones CON y EXC induce a mayores aumentos en la fuerza que el ejercicio solo con movimientos CON. Las acciones EXC son importantes probablemente debido a que optimizan la intensidad del entrenamiento. Esto podría ocurrir, en parte, porque mejoran las adaptaciones neurológicas al entrenamiento. Nosotros sugerimos que durante los vuelos espaciales se considere el uso de los ejercicios de resistencia con ambos tipos de movimientos.

Agradecimientos

Agradecemos a Bill Moore por los análisis estadísticos de los datos, a Due Loffek por diseñar los gráficos y cargar los datos, y a Bruce Hather, Robert Harris, Cathy Golden, y Dana Tatro por su ayuda en controlar el entrenamiento. Agradecemos de manera especial a los participantes que soportaron estas 33 semanas de estudio, el cual fue respaldado por los contratos NAS10 10285 y NAS10 11624 de la NASA.

REFERENCIAS

1. Bosco C, Komi PC (1979). Potentiation of the machanical behavior of the human skeletal muscle through prestreching. *Acta Physiol. Scand. 106: 467-72*
2. Colliander EB, Tesch PA (1990). Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand, 140: 31-9*
3. Convertino VA (1990). Physiological adaptations to weightlessness: effects on exercise and woek performance. *In: Pandolf KB, Holloszy JO, eds. Exercise and Sport Sciences reviews, Baltimore: William & Wilkins, 18: 119-66*
4. De Luca CJ, LeFever RS, McCue MP, Xenakis AP (1982). Behavior of human motor units in different muscles during linearly varing contractions. *J Physiol. 329: 113-28*
5. Dudley GA, Abraham WM, Terjung RL (1982). Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptation in skeletal muscle. *J Appl. Physiol. 53: 844-50*
6. Dudley GA, Duvoisin MR, Convertino VA, Buchanan P (1989). Alterations of the in vivo torque-velocity relationship of skeletal muscle following 30 days exposure to stimulated microgravity. *Avit. Space Environ. Med. 60: 659-63*
7. Dudley GA, Harris RT, Duvoisin MR, Hather BM, Buchanan P (1990). Effect of voluntary versus artificial activation on the relation of muscle torque to speed. *J Appl Physiol 69: 2215-21*
8. Gogia PP, Schneider VS, LeBlanc AD, Krebs J, Kasson C, Pientok C (1988). Bed rest effect on extremity muscle torque in healthy men. *Arch Phys Med Rehabil, 69: 1030-2*
9. Greenleaf JE, VanBeamont W, Convertino VA, Starr JC (1983). Handgrip and general muscular strength and endurance during prolonged bedrest with isometric and isotonic leg exercise training. *Aviat Space Envioron Med, 54: 696-700*
10. Greenleaf JE, Bernauer EM, Eartl AC, Trowbridge TS, Wade CE (1989). Work capacity during 30 days of bed rest with isotonic and isokinetic exercise traininig. *J Appl. Physiol, 67: 1820-6*
11. Grigoryeva LS, Kozlovskaya IB (1987). Effect of weightlessness and hypokinesia on velocity and strength properties of human muscles. *Kosm Biol Aviakosm Med. 21: 27-30*
12. Hellenbrandt FA, Parrish AM, Houtz SJ (1947). Cross Education. The influence of unilateral exercise on the contralateral limb. *Arch Phys Med 28: 76-85*
13. Hellenbrandt FA, Houtz SJ (1956). Mechanisms of muscle training in man: experimental demonstration of the overload principle. *Phys Ther Rev 36: 371-83*
14. Herbert ME, Roy RR, Edgerton VR, Edgerton VR (1988). Influence of one- week hindlimb suspension and intermittent high load exercise on rat muscles. *Exp Neurol, 102: 190-8*
15. Johnson BL, Adamczyk JW, Tennoe KO, Stromme SB (1976). A comparison of concentric and eccentric muscle training. *Med Sci Sports, 8: 35-8*
16. Jones DA, Newham DJ, Round JM, Tollfree SEJ (1986). Experimental muscle damage: morphological changes in relation to other indices of damages. *J Physiol 375: 435-48*
17. Jones DA, Rutherford OM (1987). Human muscle strength training: the effect of three different regimes and the nature of the resultant changes. *J Physiol 391: 1-11*
18. Komi PV (1984). Physiological and biochemical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *In: Terjung RL, ed. Exercise and Sport Sciences reviews. Lexington, MA: The Collamore Press; 12: 81-121*
19. Komi PV (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int. J. Sports Med. 7: 10-15*
20. LeBlanc A, Gogia P, Schneider V, Krebs J, Schonfeld E, Evans H (1988). Calf muscle area and strength changes after five weeks of horizontal bed rest. *Am. J. Sports Med. 16: 624-9*
21. Martin TP, Edgerton VR, Grindland RE (1988). Influence of spaceflight on rat skeletal muscle. *J. Appl. Physiol. 65: 2318-25*
22. Moritani T, de Vries HA (1979). Neural factors versus hypertrophy in time course of muscle strength gain. *Am J. Phys. Med. 58: 115-30*
23. Nardone A, Romano C, Schieppati M (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic

lengthening of active muscles. *J. Physiol. 409: 451-71*
24. Pearson DR, Costill DL (1988). The effects of constant external resistance exercise and isokinetic exercise training on work-induced hypertrophy. *J. Appl. Sport Sci. Res; 2:39-41*
25. Riley DA, Ellis S, Slocum GR, Satyanarayana T, Bain JLW, Sedlak FR (1987). Hypogravity-induced atrophy of rat soleus and extensor digitorum longus muscles. *Muscle Nerve; 10:560-8*
26. Tesch PA (1987). Acute and long-term metabolic changes consequent to heavy-resistance exercise. *Med. Sport Sci; 26:67-89*
27. Thornton WE, Rummel JA (1977). Muscular deconditioning and its prevention in space flight. *Biomedical results from Skylab. Washington, DC: NASA, 191-7; NASA SP-377*

Cita Original

Gary A. Dudley, Per A. Tesch, Bruce J. Miller y Paul Buchanan. Importancia de las Acciones Excéntricas en las Adaptaciones del Rendimiento al Entrenamiento de la Fuerza. Revistas de Actualización en Ciencias del Deporte; vol. 4, Nro. 13, 15-24, 1996.