PubliCE, (PubliCE) 2002

Research

Efectos de las Cargas Excéntricas Acentuadas sobre la Fuerza, la Hipetrofia Muscular, y las Adaptaciones Neurales en Individuos Entrenados

Jason P Brandenburg[1] y David Docherty[1]

[1]*School of Physical Education, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada V8V2Y2, Canadá.*

RESUMEN

El propósito de este estudio fue comparar las adaptaciones de la fuerza y neuromusculares para el entrenamiento de fuerza externa dinámica constante (DCER) y el entrenamiento de fuerza externa dinámica acentuada (DAER) (entrenamiento de fuerza que emplea una carga acentuada durante las acciones excéntricas). Sujetos de sexo masculino activos en entrenamiento de la fuerza fueron asignados a un grupo de entrenamiento DCER (n=10) o a un grupo de entrenamiento DAER (n=8) durante 9 semanas. Los sujetos en el grupo DCER realizaron 4 series de 10 repeticiones con una carga del 75% de 1 repetición máxima concéntrica (RM). Los sujetos en el grupo DAER realizaron 3 series de 10 repeticiones con una carga concéntrica del 75% de 1RM y una carga excéntrica de aproximadamente el 120% de 1RM concéntrica. Tres mediciones que reflejan adaptaciones de los flexores y extensores del codo fueron registradas pre-entrenamiento y post-entrenamiento: 1RM concéntrica, área transversal muscular (CSA), y tensión específica. La fuerza fue evaluada en los períodos intermedios del entrenamiento. No fueron observados cambios significativos en la CSA muscular en ninguno de los grupos. Ambos grupos de entrenamiento experimentaron incrementos significativos en 1RM concéntrica y en la tensión específica de tanto los flexores y extensores del codo, pero en comparación con el entrenamiento DCER, el entrenamiento DAER produjo incrementos significativamente mayores en la 1RM concéntrica de los extensores del codo. Estos resultados sugieren que, para algunos ejercicios, el entrenamiento DAER puede ser más efectivo que el entrenamiento DCER para el desarrollo de la fuerza dentro de una fase de entrenamiento de 9 semanas. Sin embargo, para los sujetos entrenados, ningún protocolo es efectivo para producir hipertrofia muscular

Palabras Clave: 1rm concéntrica, área transversal muscular, entrenamiento de la fuerza

INTRODUCCION

La mejora de la fuerza muscular que resulta de los programas con ejercicios de sobrecarga es atribuida al incremento en la masa de los músculos esqueléticos (29) y a adaptaciones neurales (25). Ha sido sugerido que el entrenamiento de la fuerza intenso, que enfatiza los ejercicios de altas cargas y bajas repeticiones (4-6 repeticiones máxima [RM]) va a producir

adaptaciones neurales, mientras que las cargas y repeticiones moderadas (8RM-10RM) están más asociadas con la hipertrofia muscular (14).

Los ejercicios realizados usando pesos libres y máquinas usan la misma carga para las acciones musculares concéntricas y excéntricas y son denominados como entrenamiento de fuerza externa dinámica constante (DCER) (31). Aunque son posibles mayores niveles de generación de fuerza durante las acciones excéntricas (5), la carga de entrenamiento es normalmente establecida por la fuerza concéntrica máxima. Consecuentemente, la intensidad relativa de la carga está reducida durante el componente excéntrico de cada repetición del entrenamiento DCER. Si las adaptaciones neuromusculares son dependientes de la magnitud de la carga de entrenamiento (1, 4) así como del número de repeticiones (14), es posible que el músculo no esté recibiendo los estímulos óptimos durante el entrenamiento DCER. Un protocolo que incremente la carga durante la acción excéntrica mientras que todavía permite realizar 8-10 repeticiones, puede producir mayores adaptaciones neuromusculares de lo que permite el entrenamiento DCER característico (3). Las altas cargas durante las acciones musculares excéntricas están asociadas con un mayor daño muscular (27) y posiblemente, con la subsiguiente hipertrofia (15). El reclutamiento de unidades motoras durante las acciones excéntricas controladas también ha sido asociado con el reclutamiento preferencial de las fibras de contracción rápida (19), las cuales han demostrado un mayor potencial para la hipertrofia que las fibras de contracción lenta (15). Adicionalmente, las altas cargas excéntricas pueden reducir la inhibición neural que conduciría a una mayor generación de fuerza concéntrica (32).

Aunque hay apoyo inequívoco para las acciones concéntricas y excéntricas combinadas en el entrenamiento DCER en comparación con el uso de solo acciones concéntricas (4, 15, 22) y solo acciones excéntricas (3), hay una falta de investigaciones que hayan investigado los efectos del ajuste de la carga excéntrica para proporcionar un estímulo adicional. Godard et al. (9) compararon los efectos de 1 serie de 8-12 repeticiones para 10 semanas de entrenamiento de la fuerza en un grupo que usaba la misma carga para acciones concéntricas y excéntricas unilaterales de los extensores de la rodilla con un grupo que usaba una carga acentuada durante acciones excéntricas para todas las repeticiones. Ellos encontraron que ambos grupos incrementaron el torque concéntrico de los extensores de la rodilla, pero no hubo una diferencia entre los grupos. Es posible que el bajo volumen de entrenamiento junto con el nivel de entrenamiento inexperimentado de los sujetos comprometieran el efecto de entrenamiento y explicaron la falta de diferencias entre los grupos. Además, el volumen de entrenamiento no fue igualado entre los grupos, y el estudio usó una forma de entrenamiento isoquinética no usualmente empleada en los programas de entrenamiento de la fuerza.

De este modo, el propósito de esta investigación fue comparar los efectos de 2 programas de entrenamiento de la fuerza sobre la fuerza máxima de individuos entrenados. Un programa usó entrenamiento DCER a una intensidad del 75% de 1RM para 4 series de 10 repeticiones, y el otro programa, fuerza externa dinámica acentuada (DAER), usó la misma carga concéntrica, pero ajustó la carga a aproximadamente el 110-120% de la 1RM concéntrica durante la acción excéntrica para 3 series de 10 repeticiones. El diferente número de series realizadas por cada grupo aproximadamente igualó el volumen de entrenamiento. Además, fueron medidas el área transversal muscular (CSA) y la tensión específica para evaluar la contribución de las adaptaciones neurales y de hipertrofia a los cambios en la fuerza. Fue hipotetizado que el entrenamiento con el incremento de la carga durante la acción excéntrica permitiría lograr mayores ganancias de fuerza, hipertrofia muscular, y adaptaciones neurales que el entrenamiento con la misma carga para las acciones concéntricas y excéntricas.

METODOS

Sujetos

23 sujetos de sexo masculino de edad universitaria, que eran activos en entrenamiento de la fuerza se ofrecieron voluntariamente como sujetos para este estudio. Los sujetos fueron considerados entrenados, debido a que ellos habían estado entrenando la fuerza por un mínimo de 1 año (8) y demostraron la capacidad de realizar el ejercicio de press de banca con una carga igual a su peso corporal (2, 23). Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento DCER o a un grupo de entrenamiento DAER, en el cual la carga fue ajustada para equiparar la fuerza concéntrica y excéntrica. Fueron proporcionadas explicaciones completas de los procedimientos de las evaluaciones y el entrenamiento a los sujetos, antes de que ellos dieran el consentimiento informado por escrito. El Comité de Ética Humana de la Universidad de Victoria concedió la aprobación para el estudio.

5 sujetos, 1 del grupo DCER y 4 del grupo DAER, abandonaron el estudio a través de las 9 semanas de duración. Consecuentemente, 10 y 8 sujetos permanecieron en los grupos de entrenamiento DCER y DAER, respectivamente. Las características de talla y peso de los sujetos, así como sus valores de 1RM en curl en banco scott y extensión del codo en supinación son presentados en la Tabla 1. Dos de los 4 sujetos que abandonaron el grupo DAER experimentaron dolor en el

antebrazo posiblemente asociado con el aumento de las cargas excéntricas. El resto de los sujetos abandonaron debido a que no eran capaces de cumplir con la programación de entrenamiento.

Procedimientos

Entrenamiento

Los sujetos de ambos grupos entrenaron 2 veces por semana durante las primeras 2 semanas y 3 veces por semana durante el resto del período de entrenamiento de 9 semanas. Los ejercicios de entrenamiento realizados fueron seleccionados para ejercitar los flexores del codo (curl en banco scott) y los extensores del codo (extensión del codo en supinación). Las posiciones corporales y rango de movimiento durante el entrenamiento fueron similares a aquellos adoptados para las condiciones de evaluación. El tiempo del entrenamiento fue controlado de modo que las acciones concéntricas y excéntricas duraran 2 segundos. Períodos de descanso de 3 minutos separaban las series de entrenamiento para todos los sujetos. Fueron requeridas un mínimo de 48 horas entre las sesiones de entrenamiento. La carga de entrenamiento para las acciones concéntricas y excéntricas fue incrementada cuando el número promedio de repeticiones realizadas por serie en una sesión de entrenamiento se volvía mayor a 10. El entrenamiento fue supervisado para confirmar los procedimientos de entrenamiento correctos y que las cargas fueran usadas. El orden de ejecución de estos ejercicios fue aleatorio de sesión a sesión. Se les pidió a los sujetos que se abstuvieran de realizar otro entrenamiento de sobrecarga que incorporara a los flexores y extensores del codo.

El grupo DCER realizó 4 series de 10 repeticiones de cada ejercicio hasta el fallo concéntrico a una intensidad de entrenamiento de aproximadamente el 75% de la 1RM concéntrica. El grupo DAER realizó 3 series de 10 repeticiones de cada ejercicio hasta el fallo concéntrico, usando una intensidad de entrenamiento que varió desde la acción concéntrica hasta la excéntrica. La intensidad para la acción concéntrica fue la misma que para la carga del grupo DCER (75% de 1RM), mientras que las acciones concéntricas fueron realizadas con una carga de aproximadamente 110-120% de la 1RM concéntrica. Los compañeros de entrenamiento ajustaban el peso inmediatamente al final de cada acción para asegurar que la carga fuera correcta para la siguiente acción.

Aunque la intensidad de entrenamiento difirió entre los grupos de entrenamiento, el volumen fue igualado aproximadamente. El volumen de entrenamiento fue definido como el número de series x el número de repeticiones x la carga de entrenamiento (22, 30). A medida que la carga de entrenamiento fue alterada durante el protocolo DAER, el volumen de entrenamiento fue establecido por medio de la separación del número de repeticiones realizadas en el número de acciones concéntricas y excéntricas completadas. Así, el volumen de entrenamiento del grupo DCER fue calculado como (4 series) x ([acciones concéntricas x 75% de 1RM concéntrica] + [acciones excéntricas x 75% de la 1RM concéntrica]); el valore fue expresado como unidades por ejercicio y alcanzó 60 unidades. El volumen de entrenamiento para el grupo DAER fue (3 series) x ([acciones concéntricas x 75% de 1RM] + [acciones excéntricas x aproximadamente 120% de 1RM]), el cual alcanzó 58.5 unidades.

Evaluaciones

La evaluación de la fuerza, la CSA muscular, y la tensión específica ocurrió antes y durante la realización de las 9 semanas de entrenamiento de la fuerza. Además, la fuerza fue evaluada después de 3 y 6 semanas de entrenamiento. A los sujetos se les pidió que se abstuvieran de realizar actividad que implicara a los flexores y extensores del codo 48 horas antes de la evaluación de la CSA muscular. La fuerza fue evaluada en el día después de las mediciones de CSA muscular para los test pre-entrenamiento y post-entrenamiento para evitar los efectos de la evaluación de la fuerza máxima en las imágenes por resonancia magnética (MRI).

Fuerza

La 1RM concéntrica de los extensores y flexores del codo fue medida mientras los sujetos realizaban curl en banco scott bilateral y extensión del codo en supinación, respectivamente.

La fuerza concéntrica máxima (1RM concéntrica) fue la carga máxima que un músculo puedo vencer mientras se acortaba durante un esfuerzo voluntario máximo. La 1RM concéntrica fue determinada a través de intentos sucesivos de intensidad creciente. La magnitud de la carga se incrementaba o disminuía hasta que la carga fuera establecida cuando podía ser realizada solo 1 contracción. Antes de las evaluaciones, los sujetos completaban 2 series de 10 repeticiones con una carga de aproximadamente el 50% de 1RM estimada. Un período de descanso de 4 minutos separó todas las series de entrada en calor y de evaluación.

1RM en Curl en Banco Scott

Fueron realizados curls de bíceps bilateral en un banco con una barra para curl (Aloyd Fitness Equipment, Victoria, British

Comumbia, Canadá). Los sujetos se sentaban en el banco con ambos pies sobre el suelo. La altura de la almohadilla del banco scott fue ajustada de modo que el tronco de cada sujeto estuviera recto, mientras que el aspecto posterior de los brazos y la axila se apoyaban en la almohadilla. La altura de la almohadilla fue registrada para estandarizar todas las sesiones de evaluación. Usando un agarre en supinación, los sujetos agarraban la barra en la menor amplitud. Los sujetos iniciaban la evaluación concéntrica del bíceps con ambos brazos descansando en la almohadilla y los codos flexionados a 10º (0º es equivalente a la extensión total). Un intento exitoso fue definido cuando la flexión completa del codo era completada (el punto de contacto de tejido entre el bíceps y el antebrazo).

1RM en Extensión del Codo en Supinación

La evaluación de la fuerza del extensor del codo fue hecha con los sujetos posicionados en el banco en la posición supina. Los sujetos fueron instruidos para mantener contacto con el banco en la posición de la cabeza, hombros, nalgas, y muslos, con los pies completamente apoyados en el suelo. Usando un agarre en pronación en la menor amplitud, los sujetos mantenían la barra arriba de la frente con ambos brazos perpendiculares al banco y los codos en la misma amplitud que los codos. La determinación de la 1RM concéntrica fue hecha en un ángulo de la articulación del codo de 100º de flexión (0º equivale a la extensión total), y una repetición era considerada exitosa cuando era alcanzada la extensión total del codo. Los ángulos de las articulaciones fueron establecidos con un goniómetro (Fitsystems Inc., Calgary, Alberta, Canadá).

CSA Muscular

La medición pre-entrenamiento y post-entrenamiento de la CSA de los extensores y flexores del codo del brazo derecho fue realizada a través de MRI nuclear (1.0 T, Signa Horizon, General Electric, Milwaukee, WI). Para mejorar la resolución, la MRI fue realizada con el brazo derecho dentro de una bobina para la rodilla. Los tiempos de relajación y de eco fueron establecidos a 525 y 12 milisegundos, respectivamente. El campo de visión durante las imágenes fue de $16cm^2$. La longitud del húmero, establecida con mediciones antropométricas, fue definida como la distancia entre el extremo distal del proceso del olécranon y el proceso acromial (16). El punto medio del húmero fue luego determinado a partir de una exploración coronal en la cual el proceso del olécranon fue identificable. Fueron tomadas 20 exploraciones axiales, cada una de 5mm de ancho, a intervalos de 10mm, comenzando desde un punto 70mm superior al punto medio del húmero. Debido a una resolución poco clara de las imágenes del extremo proximal y distales, solo fueron usados 6 cortes (2 proximales, 2 de punto medio, y 2 distales) para representar la CSA de los extensores y flexores del codo. El nivel de las exploraciones que fue usado para determinar la CSA fue el mismo entre los individuos y dentro de los individuos antes y después del entrenamiento. La CSA de los flexores y extensores del codo fue medida como el máximo valor de los 6 cortes así como el valor medio de las 2 imágenes proximales, en el punto medio, y distales. La CSA de todas las imágenes pre-entrenamiento y post-entrenamiento fue medida después de la finalización del entrenamiento. Durante la medición de la CSA, el evaluador ignoraba si la imagen era del período pre-entrenamiento o post-entrenamiento. La confiabilidad test-retest para las mediciones repetidas de CSA de la misma exploración MRI produjo un valor R de 0.996.

Tensión Específica

La tensión específica (kilogramo por centímetro cuadrado) para cada grupo muscular fue determinada por medio de la división del valor de 1RM concéntrica por la máxima CSA medida. Ya que la tensión específica fue determinada a partir de las mediciones de 1RM concéntrica bilateral y la CSA unilateral, los verdaderos valores de la tensión específica pueden ser engañosos. Sin embargo, ya que los procedimientos de evaluación fueron los mismos antes y después del entrenamiento, cualquier cambio en la tensión específica podría ser todavía atribuido a adaptaciones neurales.

Análisis Estadísticos

Las diferencias en los datos de la CSA muscular y de la tensión específica fueron examinadas usando un análisis de varianza 2 por 2 (ANOVA) (grupo por tiempo) con mediciones repetidas en el segundo factor. Fue realizado un ANOVA 2 por 4 (grupo por tiempo) con mediciones repetidas en el segundo factor para analizar los datos de fuerza. Una serie de tests ANOVA 2 por 2 (grupo por tiempo) con mediciones repetidas en el segundo factor fueron usados para determinar en que punto ocurrieron las diferencias en la fuerza. El nivel α fue establecido a una $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

Fuerza

Los efectos de 2 programas de entrenamiento de la fuerza sobre la 1RM concéntrica de los flexores del codo y la 1RM

concéntrica de los extensores del codo son presentados en la Figura 1 y la Figura 2, respectivamente. El entrenamiento DCER incrementó significativamente la 1RM concéntrica de los flexores (11%) y extensores (15%) del codo. Similarmente, el entrenamiento DAER incrementó significativamente la 1RM concéntrica de los flexores (9%) y extensores (24%) del codo. Además, la fuerza de los extensores del codo se incrementó significativamente en cada ocasión de evaluación. Los incrementos en la 1RM de los extensores del codo fueron significativamente mayores para el entrenamiento DAER que para el entrenamiento DCER.

CSA Muscular

Los efectos de los 2 programas de entrenamiento de la fuerza sobre la CSA máxima de los flexores y extensores del codo son ilustrados en la Tabla 2. No fueron producidas diferencias significativas en ninguna de las variables de CSA muscular por el entrenamiento DCER o DAER.

Tensión Específica

Las medias y desvíos estándar para la tensión específica de los flexores y extensores del codo después del entrenamiento de la fuerza son resumidas en la Tabla 3. El entrenamiento DCER incrementó significativamente la tensión específica de los flexores (9%) y extensores (13%) del codo. Similarmente, el entrenamiento DAER incrementó significativamente la tensión específica de los flexores (9%) y extensores (22%) del codo. Los efectos de los dos tipos de entrenamiento sobre la tensión específica muscular no fueron significativamente diferentes.

			1RM concéntrica	
Grupo	**Talla (cm)**	**Peso (kg)**	**Flexores del Codo (kg)**	**Extensores del codo (kg)**
DCER	178.0±6.2	81.6±5.9	42.2±7.0	47.6±7.5
DAER	179.9±5.8	80.4±2.8	44.2±5.0	48.8±7.6

Tabla 1. *Características promedio (±DE) de la talla y el peso y valores de 1RM concéntrica para los flexores y extensores del codo para los sujetos de los grupos de entrenamiento DCER (n=10) y DAER (n=8). RM=repetición máxima; DCER=carga externa dinámica constante; DAER=carga externa acentuada dinámica.*

Músculos	**DCER**	**DAER**
Flexores del Codo		
Pre-entrenamiento (cm^2)	28.7±4.06	30.52±3.64
Post-entrenamiento (cm^2)	29.6±4.69	30.43±2.65
Extensores del Codo		
Pre-entrenamiento (cm^2)	35.43±7.08	36.34±3.81
Post-entrenamiento (cm^2)	36.03±7.26	36.94±3.16

Tabla 2. *Mediciones promedio (±DE) de CSA máximas de los flexores y extensors del codo pre-entrenamiento y post-entrenamiento de los grupos de entrenamiento DCER (n=10) y DAER (n=8). CSA=área de sección transversal; DCER=carga externa dinámica constante; DAER=carga externa dinámica acentuada.*

Músculos	**DCER**	**DAER**
Flexores del Codo		
Pre-entrenamiento (kg/cm^2)	1.47±0.14	1.46±0.18
Post-entrenamiento (kg/cm^2)	1.60±0.12 *	1.59±0.08 *
Extensores del Codo		
Pre-entrenamiento (kg/cm^2)	1.36±0.20	1.34±0.18
Post-entrenamiento (kg/cm^2)	1.54±0.25 *	1.64±0.16 *

Tabla 3. *Valores promedio (±DE) de tension específica de los flexores y extensores del codo pre-entrenamiento y post-entrenamiento*

*de los grupos de entrenamiento DCER (n=10) y DAER (n=8). DCER=carga externa dinámica constante; DAER=carga externa dinámica acentuada. * Representa diferencias significativas con respecto a los valores pre-entrenamiento (p<0.05).*

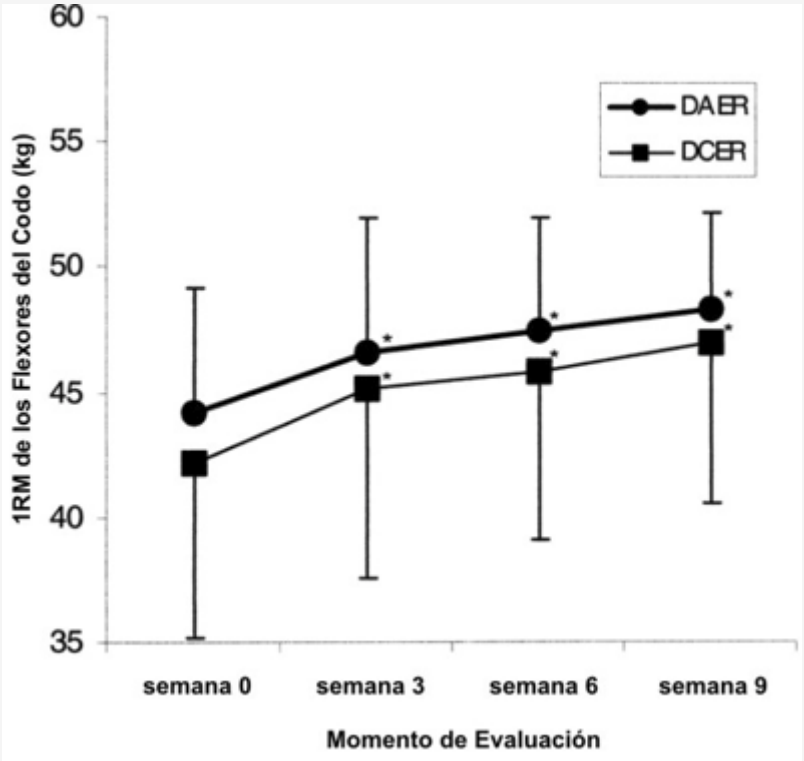


***Figura 1**. Valores promedio (±DE) para 1RM concéntrica de los flexores del codo a través de la duración del estudio (* indica diferencias significativas con respecto a la semana 0, p<0.05).RM=repetición máxima.*

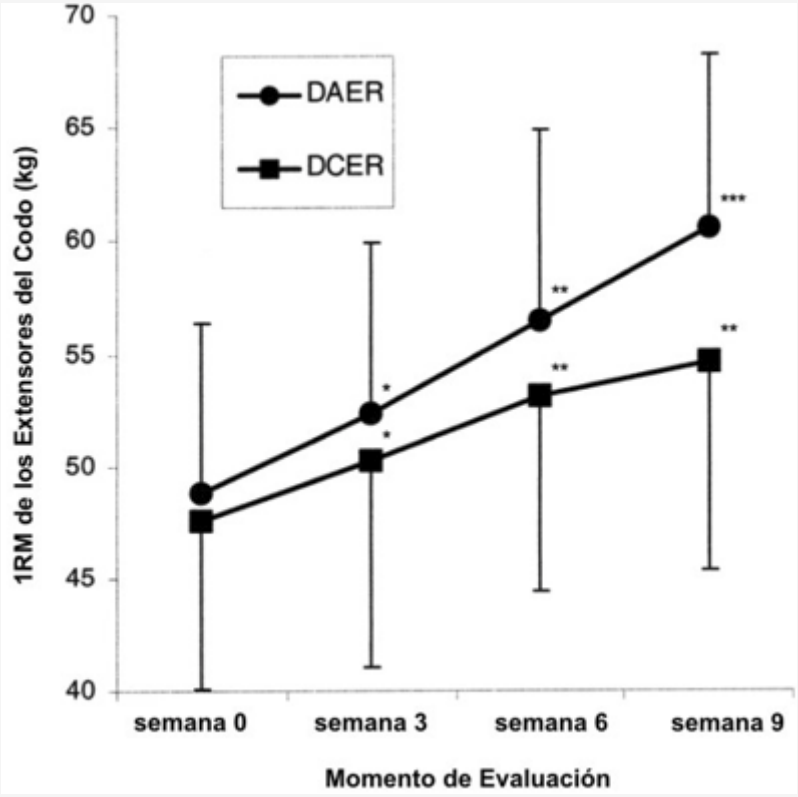


Figura 2. *Valores promedio (±DE) para 1RM concéntrica de los extensores del codo a través de la duración del estudio (* indica diferencias significativas con respecto a la semana 0, ** indica diferencias significativas con respecto a la semana 3, y *** indica diferencias significativas con respecto a la semana 6 y con respecto al grupo DCER en la semana 9, p<0.05).RM=repetición máxima; DCER=carga externa dinámica constante.*

DISCUSION

El propósito de este estudio fue comparar el entrenamiento DCER y el entrenamiento de fuerza excéntrica-concéntrica de carga ajustable (DAER) sobre las adaptaciones neuromusculares y de fuerza. Ambos tipos de entrenamiento indujeron mejoras significativas en la fuerza concéntrica de los flexores y extensores del codo. Las mejoras en la fuerza de los flexores del codo fueron similares en respuesta a ambos tipos de entrenamiento (Figura 1). Sin embargo, el entrenamiento DAER produjo un desarrollo significativamente mayor en la fuerza de los extensores del codo en comparación con el entrenamiento DCER (Figura 2).

Godard et al. (9) compararon programas de entrenamiento excéntricos acentuados y no acentuados y encontraron que ambos grupos demostraron grandes incrementos significativos en la fuerza de extensión de la pierna, pero no hubo diferencias entre los 2 grupos. El presente estudio encontró mejoras significativas en la fuerza de los flexores y extensores del codo para los grupos DCER (acción excéntrica no acentuada) y DAER (acción excéntrica acentuada), pero hubo una diferencia significativa entre los 2 grupos en la fuerza de los extensores del codo. Además, la magnitud de incremento en la fuerza para los sujetos en el estudio de Godard et al. (9) (101-106%) estuvo muy por encima de los incrementos demostrados en el presente estudio (9-24%). Godard et al. (9) también reportaron una modesta, pero significativa hipertrofia (medida por el perímetro del muslo) para ambos grupos, mientras que en el presente estudio, no ocurrieron cambios en la CSA muscular en ninguno de los grupos. Aunque ambos estudios usaron un protocolo de entrenamiento excéntrico acentuado con cargas similares, las diferencias en los resultados pueden ser explicadas por el nivel desentrenado de los sujetos en el estudio de Godard et al. (9) y su modo de entrenamiento isoquinético. Las grandes ganancias de fuerza experimentadas por sus sujetos pueden haber sido atribuidas a un considerable efecto de aprendizaje a partir del entrenamiento con acciones musculares isoquinéticas además de las adaptaciones neurales normalmente asociadas con los individuos no acostumbrados al entrenamiento de la fuerza. Además, su nivel desentrenado incrementaría su respuesta a cualquier estímulo de entrenamiento. Consecuentemente, la carga excéntrica no acentuada puede haber constituido un estímulo adecuado para los sujetos desentrenados, y la carga agregada en el programa

acentuado puede no haber proporcionado ninguna ventaja adicional.

Los incrementos en la fuerza de los flexores del codo para los grupos DCER y DAER (9% y 10%, respectivamente) en este estudio fueron menores a los incrementos de 13-25% en la fuerza de los flexores del codo reportada en otros estudios en sujetos con antecedentes en entrenamiento de la fuerza (16, 18). Aunque estos estudios emplearon entrenamiento DCER, los mayores incrementos en la fuerza pueden ser atribuidos a los múltiples ejercicios, más series, y mayores cargas. Además, las diferencias en el nivel pre-entrenamiento pueden explicar los menores incrementos hallados en este estudio.

Kawakami et al. (13) demostraron incrementos de 20-32% en la fuerza de los extensores del codo en sujetos acostumbrados al entrenamiento de la fuerza después de 16 semanas de entrenamiento con el 80% de 1RM. Aunque en el presente estudio fue usado un período de entrenamiento más corto de 9 semanas, fueron observados incrementos comparables (24%) en el grupo de entrenamiento DAER. El incremento de 24% en la fuerza de los extensores de codo en el grupo DAER fue significativamente mayor que el incremento del 15% hallado en el grupo DCER.

Generalmente, fueron observados mayores incrementos en la fuerza en los extensores que en los flexores del codo. Aunque los sujetos que participaron en este estudio eran previamente entrenados, es posible que estuvieran más familiarizados con el entrenamiento de los flexores que con el de los extensores del codo, particularmente con los ejercicios de entrenamiento realizados en este estudio. Consecuentemente, los mayores incrementos generales en la fuerza de los extensores del codo pueden ser atribuidos a un efecto de aprendizaje (17) debido a una falta de familiaridad inicial en la realización del ejercicio de extensión del codo en supinación. Sin embargo, este efecto no explica los mayores incrementos en la fuerza de los extensores del codo para el grupo DAER en relación al grupo DCER.

Con la suposición acerca de que la magnitud de la carga de entrenamiento es fundamental en el aumento de la fuerza, nosotros hipotetizamos que el entrenamiento DAER, en relación al entrenamiento DCER, produciría incrementos significativamente mayores en la fuerza de ambos grupos musculares. Esta respuesta fue solo observada en los extensores del codo. Claramente, los flexores y extensores del codo respondieron de manera diferente al mismo estímulo relativo. Una explicación para estos resultados puede ser atribuida al diseño intrínseco de las fibras musculares de los extensores del codo. Los extensores del codo son músculos peniformes diseñados para el desarrollo de altas fuerzas (13). En los músculos peniformes, las fibras se unen en un ángulo, y por ello incrementando la CSA efectiva del músculo (13). De manera inversa, el diseño de fibras paralelas de los flexores del codo no es favorable para el desarrollo de altas fuerzas (12). La alta carga (110-120% de la 1RM concéntrica) usada en las acciones excéntricas en el programa de entrenamiento DAER puede haber excedido la capacidad de los flexores del codo y puede haber sido mejor tolerada por los extensores del codo, explicando las diferencias en la respuesta de entrenamiento entre los dos grupos musculares.

Períodos prolongados de entrenamiento de la fuerza intenso acompañados por entrenamiento hasta el fallo muscular pueden producir sobreentrenamiento (28) o fatiga neural (2), los cuales son perjudiciales para el rendimiento de la fuerza. Aunque la fuerza de los flexores del codo se incrementó significativamente en respuesta al entrenamiento DAER, la magnitud de las ganancias puede haber sido comprometida debido a la fatiga acumulativa experimentada durante el uso frecuente de las cargas de entrenamiento intensas, para las cuales los flexores del codo pueden no estar bien diseñados. La fatiga acumulativa puede haber disminuido el efecto de entrenamiento no permitiendo un tiempo suficiente de regeneración o de “supercompensación”, lo cual puede explicar la ausencia de un mayor incremento significativo en la fuerza de los flexores del codo del grupo DAER en comparación con el grupo DCER. Períodos más cortos de entrenamiento DAER con una fase de “descarga” podrían haber provocado incrementos en la fuerza de los flexores del codo similares a aquellos provocados en los extensores de los codos.

Aunque el número de repeticiones realizadas por ambos grupos de entrenamiento estuvo dentro del rango propuesto para hipertrofia (14, 30), ningún tipo de entrenamiento indujo una respuesta hipertrófica significativa en la CSA máxima (Tabla 2), proximal, en el punto medio o distal de los flexores o extensores del codo. En contraste con los hallazgos de la presente investigación, otros estudios que usaron sujetos con experiencia de entrenamiento comparable han reportado una hipertrofia significativa de las extremidades superiores (13, 16, 23). Sin embargo, la duración de estos estudios (10-16 semanas) fue mayor que la duración del presente estudio (9 semanas). Además, Häkkinen y colaboradores (10) observaron que la hipertrofia de los extensores de la pierna no ocurrió hasta las 8 semanas finales de las 16 semanas de entrenamiento de alta intensidad (acciones concéntricas combinadas con excéntricas).

En el presente estudio, la CSA fue medida como el máximo corte de CSA perpendicular a la longitud del húmero. Sin embargo, la determinación de la CSA máxima de un músculo o grupo muscular depende de la orientación de las fibras musculares (24). Ya que el grupo muscular del tríceps posee un diseño peniforme, las fibras no están dispuestas en paralelo con respecto al húmero; así, la exploración perpendicular puede no haber proporcionado una indicación verdadera de la CSA de los extensores del codo. Un incremento en el contenido miofibrilar podría haber ocurrido a lo largo de la orientación peniforme. Por consiguiente, la hipertrofia de los extensores del codo puede no haber sido detectable con el presente método de medición de la CSA. En contraste, Kawakami et al. (13) observaron un incremento significativo en la

CSA máxima de los extensores del codo.

Nuestros resultados (incrementos en la fuerza de los flexores y extensores del codo sin un incremento concomitante en la CSA) sugieren que otros factores distintos a la hipertrofia son responsables de los incrementos en la fuerza. La tensión específica es una representación de la capacidad de generación de fuerza por unidad de área muscular, y se cree que cualquier incremento en la tensión específica es atribuible a mecanismos neurales (20, 21). La tensión específica de los flexores y extensores del codo se incrementó significativamente en respuesta a ambos tipos de entrenamiento (Tabla 3). Las diferencias entre la magnitud de las mejoras provocadas por el entrenamiento DCER y DAER no fueron significativas para ninguno de los grupos musculares entrenados.

Un mecanismo neural que puede contribuir a un incremento en la tensión específica es una reducción en la coactivación del músculo antagonista (6, 20). La coactivación del antagonista es perjudicial para el torque neto en la dirección de movimiento elegida (26). La coactivación del antagonista, a través de la inhibición recíproca, puede perjudicar la activación completa del agonista, conduciendo a una posterior disminución en la producción de fuerza. Por medio de la reducción de la coactivación del antagonista, es posible la activación más efectiva del agonista, resultando en una mayor producción de fuerza sin la hipertrofia asociada.

El entrenamiento de altas cargas implica el reclutamiento de todas o la mayoría de las unidades motoras, así como la necesidad de todas las unidades motoras para retener una alta frecuencia de disparo (26). Debido a las altas cargas de entrenamiento usadas durante el entrenamiento DAER, el reclutamiento y la frecuencia de disparo de las unidades motoras pueden haber sido mayores que los ocurridos durante el entrenamiento DCER. Sale (26) ha postulado que las adaptaciones neurales, tales como la capacidad para incrementar la frecuencia de disparo de una unidad motora, requieren un período de entrenamiento prolongado. Häkkinen et al. (11) demostraron incrementos en la actividad electromiográfica durante 16 semanas de entrenamiento de fuerza de alta intensidad (>80% de 1RM). Las diferencias en la tensión específica de los extensores del codo de los grupos DCER y DAER se acercaron a la significancia en el punto de las 9 semanas. Así, el período de entrenamiento de 9 semanas puede no haber sido de suficiente duración para observar diferencias en las mejoras de la tensión específica provocada por cualquiera de los tipos de entrenamiento.

La activación muscular es también influenciada por la duración de cada acción muscular. El tiempo de entrenamiento para ambos grupos de entrenamiento DAER y DCER fue controlado en 2 segundos para la acción concéntrica y 2 segundos para la acción excéntrica para un total de 40 segundos por serie. La evidencia ha indicado que durante contracciones submáximas prolongadas, el reclutamiento de las unidades motoras previamente inactivas ocurre a medida que las unidades motoras activadas se fatigan y ya no generan fuerza (7). Si la duración de la acción muscular fue suficiente para producir este efecto, cualquier ventaja en el nivel de reclutamiento mantenido por la carga de entrenamiento DAER hubiera sido perdida, explicando potencialmente la falta de diferencias entre los 2 protocolos de entrenamiento.

Fue esperado que 9 semanas de entrenamiento DAER produjera mayores incrementos en la fuerza, CSA muscular, y tensión específica de lo que produciría el entrenamiento DCER. La fuerza de los flexores y extensores del codo se incrementó en respuesta a ambos programas de entrenamiento, pero la fuerza de los extensores del codo fue significativamente mayor después del entrenamiento DAER. No fueron observados cambios en la CSA muscular en respuesta a ninguno de los protocolos de entrenamiento. Las mejoras en la tensión específica fueron similares en ambos grupos de entrenamiento. Un incremento en la fuerza sin un incremento concomitante en la CSA muscular sugiere que la mayor parte de la ganancia de la fuerza fue atribuible a factores neurogénicos. La diferencia entre los grupos DCER y DAER en la respuesta de los flexores y extensores del codo puede estar relacionada a las diferencias en la arquitectura muscular. La ausencia de una hipertrofia muscular significativa puede reflejar el nivel entrenado de los sujetos y la relativamente corta duración del período de entrenamiento.

Aplicaciones Prácticas

Las siguientes implicaciones del entrenamiento de la fuerza pueden ser establecidas a partir de esta investigación:

En el entrenamiento de los flexores del codo, el entrenamiento DCER y DAER son igualmente efectivos en el desarrollo de la fuerza.

Para algunos grupos musculares, como los extensores del codo, el entrenamiento DAER puede ser más efectivo que el entrenamiento DCER y el tiempo y esfuerzo adicional requerido por esta forma de entrenamiento pueden ser valiosos.

Es improbable que los sujetos entrenados vayan a conseguir un gran incremento en la CSA muscular a partir de los entrenamientos DCER y DAER durante una fase de entrenamiento de 9 semanas.

Agradecimientos

A los autores les gustaría agradecer a Rob Calland y al Dr. Mitton del Hospital General de Victoria por su ayuda con las imágenes por resonancia magnética.

Dirección para Envío de Correspondencia

Dr. David Docherty, correo electrónico: docherty@uvic.ca.

REFERENCIAS

1. Atha, J (1981). Strengthening muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev. 9:1–74*
2. Baker, D.,g. Wilson, and R. Carlyon (1994). Periodization: The effect on strength of manipulating volume and intensity. *J. Strength Cond. Res. 8:235–242*
3. Ben-Sire, D., A. Ayalon, and M. Tavi (1995). The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *J. Strength Cond. Res. 9:143–148*
4. Dudley,g., P.A. Tesch, B.J. Miller, and P. Buchanan (1991). Importance of eccentric contractions in performance adaptations to resistance training. *Aviat. Space Environ. Med. 62:543–550*
5. Enoka, R.M (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J. Appl. Physiol. 81:2339–2346*
6. Garfinkel, S., and E. Cafarelli (1992). Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Med. Sci. Sports Exerc. 24:1220–1227*
7. Garland, S.J., R.M. Enoka, L.P. Serrano, andg.A. Robinson (1994). Behavior of motor units in human biceps brachii during a submaximal fatiguing contraction. *J. Appl. Physiol. 76:2411–2419*
8. Gibala, M.J., J.D. MacDougall, and D.G. Sale (1994). The effects of taper on strength performance in trained athletes. *Int. J. Sports Med. 15:492–497*
9. Godard, M.P., J.W. Wygand, R.N. Carpinelli, S. Catalano, and R.M. Otto (1998). Effects of accentuated eccentric resistance training on concentric knee extensor strength. *J. Strength Cond. Res. 12:26–29*
10. Hakkinen, K., M. Alen, and P.V. Komi (1985). Changes in isometric force- relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand. 125:573–585*
11. Hakkinen, K., P.V. Komi, and P. Tesch (1981). Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force- time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand. J. Sports Sci. 3:50–58*
12. Huijing, P.A (1992). Elastic potential of muscle. *In: Strength and Power in Sport. P. V. Komi, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications pp. 151–168*
13. Kawakami, Y., A. Takashi, S. Kuno, and T. Fukunaga (1995). Training induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur. J. Appl. Physiol. 72:37–43*
14. Kraemer,W J., S.J. Fleck, andW J. Evans (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc. Sport Sci. Rev. 24:363–398*
15. Lacerte, M., B.J. Delateur, A.D. Alquist, and K.A. Questad (1992). Concentric versus combined concentric-eccentric isokinetic training programs: Effect on peak torque of human quadriceps femoris muscle. *Arch. Phys. Med. Rehabil. 73:1059–1062*
16. McCall, J.G.,W C. Byrnes, A. Dickinson, P.M. Pattany, and S.J. Fleck (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J. Appl. Physiol. 81:2004–2012*
17. Moritani, T (1992). Time course adaptations during strength and power training. *In: Strength and Power in Sport. P.V. Komi, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications pp. 268–278*
18. Moss, B.M., P.E. Refsnes, A. Abildgaard, K. Nicolayson, and J. Jensen (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur. J. Appl. Physiol. 75:193–199*
19. Nardone, A., C. Romano, and M. Schieppetti (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J. Physiol. (Lond.). 409:451–471*
20. Narici, M.V., H. Hoppeler, B. Kayser, L. Landoni, H. Classen, C. Gavardi, M. Conti, and P. Cerretelli (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta. Physiol. Scand. 157:175–186*
21. Narici, M.V.,g.S. Roi, L. Landoni, A.E. Minetti, and P. Cerretelli (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol. 59:310–319*
22. O Hagan, F.T., D.G. Sale, J.D. MacDougall, and S.H. Garner (1995). Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. *Med. Sci. Sports Exerc. 27:1210–1219*
23. Ostrowski, K.J.,G.J. Wilson, R. Weatherby, P.W. Murphy, and A.D. Lyttle (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J. Strength Cond. Res. 11:148–154*
24. Roy, R.R., and V.R. Edgerton (1992). Skeletal muscle architecture and performance. *In: Strength and Power in Sport. P.V. Komi, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications pp. 115–129*
25. Sale, D.G (1998). Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc. 20: S. 135–S145*
26. Sale, D.G. Neural Adaptations (1992). Strength and Power in Sport. *P.V. Komi, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 249–265*
27. Saxton, J.M., P.M. Clarkson, R. James, M. Miles, M. Westerfer, S. Clark, and A.E. Donnelly (1995). Neuromuscular dysfunction

following eccentric exercise. *Med. Sci. Sports Exerc. 27:1185–1193*
28. Tan, B (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximal strength in men. *J. Strength Cond. Res. 13:289–304*
29. Tesch, P.A (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc. 20: s. 132–s134*
30. Tesch, P.A (1992). Training for bodybuilding. *Strength and Power in Sport. P.V. Komi, ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, pp. 370–380*
31. Weiss, L.W., H.D. Coney, and F.C. Clark (1999). Differential functional adaptations to short-term low-, moderate-, and high-repetition weight training. *J. Strength Cond. Res. 13:236–241*
32. Wilson,g.J (1995). Disinhibition of the neural system: Uses in programming, training and competition. *Strength Cond. Coach. 3: (3). 3–5*

Cita Original

Brandenburg Jason P. y David Docherty.The Effects of Accentuated Eccentric Loading on Strength, Muscle Hypertrophy, and Neural Adaptations in Trained Individuals. J Strength Cond. Res.; 16 (1): 25-32, 2002.