

Article

Especificidad del Entrenamiento al Realizar Ejercicios de Fuerza de una Sola Articulación versus Múltiples Articulaciones entre Mujeres Físicamente Activas: Una Prueba Controlada Aleatoria

Training Specificity Performing Single-joint vs. Multi-joint Resistance Exercises Among Physically Active Females: A Randomized Controlled Trial

Nicolay Stien, Helene Pedersen, Aril Hagen Ravnøy, Vidar Andersen y Atle Hole Saeterbakken

Faculty of Education, Arts and Sports, Western Norway University of Applied Sciences, Bergen, Norway

Editor: Daniel Boulosa, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, BRAZIL

Recibido: Enero 31, 2020; **Aceptado:** Mayo 6, 2020; **Publicado:** Mayo 29, 2020

Copyright: © 2020 Stien et al.

Disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes se encuentran dentro del manuscrito y sus archivos de información de apoyo.

Financiación: Los autores no recibieron financiación específica para este trabajo.

Conflicto de intereses: Los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

RESUMEN

El entrenamiento de la fuerza de los miembros inferiores usa ejercicios que movilizan una (ejercicios que utilizan una única articulación) o varias articulaciones (ejercicios multi-articulares). Este estudio comparó los efectos de entrenarse con un ejercicio multi-articular (press de piernas) o con dos ejercicios con una única articulación (extensión de piernas y patada de glúteo) sobre la fuerza dinámica e isométrica y la transferencia de la fuerza dinámica entre los ejercicios. Cincuenta y tres mujeres físicamente activas se designaron al azar a un grupo de entrenamiento multi-articular (MJ) (edad = 21.95 ± 0.82 años, masa = 64.85 ± 5.76 kg, altura = 167.35 ± 2.47 cm; n = 20), un grupo de entrenamiento uni-articular (SJ) (edad = 22.56 ± 1.66 años, masa = 64.85 ± 5.76 kg, altura = 165.94 ± 2.84 cm; n = 18), o un grupo de control (CON) (edad = 21.27 ± 0.68 años, masa = 68.43 ± 4.86 kg, altura = 168.63 ± 2.84 cm; n = 15). Los grupos de entrenamiento participaron en un programa de 8 semanas de entrenamiento supervisado consistente en ejercicios del tren inferior uniarticular o multi-articular en 18 sesiones. Se evaluaron en pre- y post-entrenamiento, 6 máximas repeticiones (6MR) y la contracción

isométrica voluntaria máxima en los tres ejercicios, junto con la electromiografía de los músculos superficiales del cuádriceps. Las mejoras en todos los ejercicios dinámicos fueron más grandes después del entrenamiento de los ejercicios específicos (ES = 1.26-2.14, $P < 0.001-0.025$) y todas fueron mayores en los grupos de entrenamiento que en el grupo CON (ES = 1.43-3.31, $P < 0.001-0.021$). El grupo de SJ mejoró su 6MR en la extensión de piernas y en la patada de glúteo, más que en el press de piernas (ES = 1.51 y 2.04, respectivamente, $P < 0.001$), mientras que el grupo de MJ mejoró su 6MR de press de piernas más que en la patada de glúteo (ES = 1.10, $P = 0.002$). Sin embargo, la fuerza del press de piernas y de la extensión de piernas mejoró similarmente en el grupo de MJ (ES = 0.54, $P = 0.072$). Todas las medidas de fuerza y electromiográficas permanecieron sin cambios en el grupo CON (ES = 0.00-0.44, $P = 0.412-0.966$). Mejoró la fuerza dinámica en el press de piernas, en la patada de glúteo y en la extensión de piernas se logra mejor entrenándose con ejercicios específicos, pero ambas modalidades de entrenamiento pueden mejorar la fuerza para todos los ejercicios.

Palabras Clave: Entrenamiento específico, Una articulación, Multiarticulación, Fuerza, Mujeres

ABSTRACT

Resistance-training of the lower limbs can be performed using exercises moving one (single-joint exercises) or several joints (multi-joint exercises). This study compared the effects of training one multi-joint exercise (leg press) or two single-joint exercises (leg extension and kickback) on dynamic and isometric strength and the transferability of dynamic strength between exercises. Fifty-three physically active women were randomized to a multi-joint (MJ) training group (age = 21.95 ± 0.82 years, mass = 64.85 ± 5.76 kg, height = 167.35 ± 2.47 cm; $n = 20$), single-joint (SJ) training group (age = 22.56 ± 1.66 years, mass = 64.85 ± 5.76 kg, height = 165.94 ± 2.84 cm; $n = 18$), or a control (CON) group (age = 21.27 ± 0.68 years, mass = 68.43 ± 4.86 kg, height = 168.63 ± 2.84 cm; $n = 15$). The training groups participated in an 8-week supervised single- or multi-joint lower limb training consisting of 18 sessions. Pre- and post-training, six repetitions maximum (RM) and maximal voluntary isometric contraction in the three exercises were assessed, along with electromyography of the superficial quadriceps muscles. Improvements in all dynamic exercises were greatest after training the specific exercises (ES = 1.26-2.14, $P < 0.001-0.025$) and all were greater in the training groups than in the CON group (ES = 1.43-3.31, $P < 0.001-0.021$). The SJ group improved 6RM in leg extension and kickback more than leg press (ES = 1.51 and 2.04, respectively, $P < 0.001$), whereas the MJ group improved leg press 6RM more than kickback (ES = 1.10, $P = 0.002$). However, leg press and leg extension strength improved similarly in the MJ group (ES = 0.54, $P = 0.072$). All strength and electromyographic measures remained unchanged in the CON group (ES = 0.00-0.44, $P = 0.412-0.966$). Improved dynamic strength in leg press, kickback and leg extension is best attained by training the specific exercises, but both training modalities can improve strength across all exercises.

Keywords: Training specificity, Single-joint, Multi-joint, Strength; Females

INTRODUCCIÓN

Un programa del entrenamiento de la fuerza diseñado para aumentar la fuerza muscular debe incluir una manipulación significativa de las variables del entrenamiento como el volumen, intensidad, intervalos de pausa, selección del ejercicio, tipo de contracción, y velocidad [1-5]. Con respecto a la selección del ejercicio, algunos de los ejercicios más típicos para los miembros inferiores son los ejercicios que utilizan una única articulación (es decir, patada de glúteo, flexión de piernas, y extensión de piernas) y los ejercicios multi-articulares (es decir, sentadilla con barra atrás y press de piernas) [6-9]. Los ejercicios multi-articulares se han visto tradicionalmente como más eficaces que los ejercicios que utilizan una única articulación para aumentar la fuerza máxima, la activación muscular, el estrés metabólico y para imitar más fuertemente tareas diarias y patrones de movimiento deportivos específicos [7,10,11]. En contraste, se han indicado a los ejercicios que utilizan una única articulación como beneficiosos para demandas técnicas y coordinativas reducidas [12,13].

Adicionalmente, los ejercicios que utilizan una única articulación pueden ajustarse mejor para orientarse en músculos específicos y corregir desequilibrios entre los grupos musculares comparado a los ejercicios multi-articulares [10,14].

Como los diferentes ejercicios y ángulos articulares afectan la longitud y el brazo del momento de los músculos y, por consiguiente, su capacidad para generar fuerza y velocidad, la selección entre ejercicios uni- o multi-articulares es probable que impacten el desarrollo de los músculos entrenados [15]. Pocos estudios han comparado los resultados de

entrenamientos específicos y la transferencia de fuerza entre el entrenamiento aislado uni- y multi-articular [6, 16-18]. Gentil y cols. [17] observaron aumentos similares en la fuerza del flexor del codo a través de los grupos después de 10 semanas de realizar ya sea tirón de polea alta (multi-articular) como de curls de bíceps (uni-articular). En contrastante, varios estudios han reportado mejoras superiores de la fuerza después de un entrenamiento multi-articular comparado al entrenamiento uni-articular de los miembros inferiores [6,11,18]. Sin embargo, estos estudios tenían algunas limitaciones potenciales que dificultan la comparación de los resultados. Por ejemplo, Augustsson y cols. [6] excluyeron la valoración de fuerza dinámica en los ejercicios que utilizan una única articulación, Paoli y cols. [11] utilizaron un número diferente de repeticiones para los grupos uni- y multi-articulares, y Gonçalves y cols. [18] usaron un diseño contralateral (ejercitando una pierna usando el entrenamiento multi-articular y la otra pierna usando el entrenamiento uni-articular).

Es más, los estudios previos que comparan los entrenamientos uni- y multi-articulares han excluido mediciones de la actividad neuromuscular. Puesto que la mayor fuerza es mediada por factores morfológicos y neurales [8,19], evaluar la fuerza muscular y la electromiografía (EMG) simultáneamente podría ayudar a identificar qué factores influyen la especificidad y la transferencia de fuerza. Examinando los cambios en la fuerza isométrica y dinámica también podrían dar un conocimiento más profundo de los cambios musculares luego de las dos modalidades de entrenamiento. Visto que la fuerza dinámica mejorada es mediada en parte por las adaptaciones neurales y coordinativas [12,19-23], la fuerza isométrica puede depender más de las adaptaciones musculares debido a las reducidas demandas coordinativas y técnicas. Por lo tanto, podría ser de interés investigar si las mejoras de la fuerza de acciones específicas después de los ejercicios dinámicos son similares cuando se evalúan isométricamente.

Los grupos musculares primarios entrenados en el ejercicio multi-articular del press de piernas son los músculos extensores de la rodilla y los músculos extensores de la cadera, ambos pueden entrenarse en aislamiento en ejercicios que utilizan una única articulación como las extensiones de piernas y la patada de glúteo [24,25]. Puesto que la falta de tiempo percibida está entre las barreras normalmente reportadas para la participación en el ejercicio [26,27], entrenarse con un ejercicio multi-articular en lugar de varios ejercicios que utilizan una única articulación, podría ser favorable para muchas personas. Sin embargo, relativamente poco se sabe sobre los resultados de entrenamientos específicos luego de un entrenamiento uni- o multi-articular y si realizando un ejercicio multi-articular o dos ejercicios que utilizan una única articulación son más beneficiosos para aumentar la fuerza [6]. Para el conocimiento de los autores, ningún estudio comparable ha identificado si las diferencias potenciales entre los entrenamientos uni y multi-articulares pueden ser atribuidos a la especificidad del tipo de contracción o patrón de movimiento. Los resultados podrían ser de importancia para atletas y practicantes al diseñar sus programas de entrenamiento. De ahí, el objetivo de este estudio fue comparar los resultados del entrenamiento después de un entrenamiento uni- o multi-articular de miembros inferiores y examinar la posible transferencia de fuerza dinámica entre ejercicios que utilizan una única o varias articulaciones apuntando a los propios motores primarios. Dado que los estudios comparables [6,11,18] que informan mejoras superiores después del entrenamiento multiarticular han sido limitados debido a las razones antes mencionadas, se planteó la hipótesis, basada en el principio de especificidad, de que ambos grupos de entrenamiento aumentarían la fuerza dinámica e isométrica en su ejercicio entrenado más que los otros grupos, y que el aumento de la fuerza dinámica sería mayor en su ejercicio entrenado que en sus ejercicios no entrenados.

MÉTODOS

Diseño del estudio

Un estudio controlado aleatorizado fue dirigido para examinar efectos dentro de- y entre-grupos de entrenamiento uni- y multi-articular sobre la fuerza dinámica (seis máximas repeticiones (6MR)), la contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC), y la electromiografía (EMG) de los músculos extensores de la pierna durante levantamientos de 6MR. Los grupos de entrenamiento realizaron 18 sesiones en un período de 8 semanas que consistieron en realizar press de piernas (grupo multi-articular (MJ)) o patada de glúteo y extensiones de piernas (grupo uni-articular (SJ)). Todos los grupos estaban de acuerdo en abstenerse de cualquier otro entrenamiento de la fuerza del miembro inferior durante la intervención. Se evaluaron a las participantes pre- y post-intervención para 6MR y MVIC en los tres ejercicios. La actividad EMG de los músculos superficiales del cuádriceps (recto femoral, vasto externo, y vasto interno) se evaluó durante el press de piernas dinámico y la extensión de piernas. El orden de los ejercicios se aleatorizó en un orden compensado.

Participantes

Sesenta mujeres físicamente activas se ofrecieron voluntariamente a participar en el estudio. De éstas, siete no completaron la intervención o el post-test debido a razones personales ($n = 2$) o enfermedad o lesiones no relacionadas a la intervención ($n = 5$). Cincuenta y tres mujeres físicamente activas completaron la intervención del entrenamiento (ver

Tabla 1 para las características básicas). Después del pre-testeo, se asignaron las participantes al azar a uno de los siguientes grupos: entrenamiento uni-articular (grupo de SJ; n = 18), entrenamiento multi-articular (grupo de MJ; n = 20), o un grupo de control (CON; n = 15).

Tabla 1. Características físicas, experiencia de entrenamiento de la fuerza (RT), seis máximas repeticiones (6MR) y fuerza isométrica (N) al inicio del estudio.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540.t001>

	Control group (n = 15)	Single-joint group (n = 18)	Multi-joint group (n = 20)
Age (years)	21.27 (20.59–21.95)	22.56 (20.90–24.22)	21.95 (21.13–22.77)
Height (cm)	168.63 (168.79–171.47)	165.94 (163.10–168.78)	167.35 (164.88–169.82)
Body mass (kg)	68.43 (63.57–73.29)	64.99 (60.30–69.68)	64.85 (59.09–70.61)
RT experience (years)	0.65 (0.20–1.10)	0.77 (0.26–1.28)	1.06 (0.33–1.79)
Leg press 6RM (kg)	98.33 (85.70–110.97)	111.17 (96.93–125.40)	101.25 (91.20–111.30)
Isometric leg press (N)	778.58 (650.13–907.03)	970.51 (720.60–1220.42)	873.26 (732.97–1013.55)
Kickback 6RM (kg)	32.60 (28.97–36.23)	35.71 (30.99–40.42)	32.95 (29.58–36.32)
Isometric kickback (N)	672.97 (581.19–764.75)	797.86 (679.71–916.02)	751.74 (660.99–842.48)
Leg extension 6RM (kg)	51.14 (46.23–56.06)	57.03 (52.13–61.92)	54.33 (49.64–59.01)
Isometric leg extension (N)	357.42 (264.67–450.17)	553.85 (407.09–700.61)	490.97 (355.16–626.78)

Values are presented as mean (95% confidence interval).

Las participantes no tenían ninguna lesión y no habían realizado el entrenamiento de la fuerza del miembro inferior en forma sistemática (es decir, >1 sesiones semanales) en los últimos 6 meses. Todas las participantes fueron verbalmente y por escrito informadas sobre el estudio y firmaron un formulario de consentimiento informado antes de que la recopilación de los datos empezara. Los procedimientos de la investigación presente responden a las normas de tratamiento de participantes humanos en la investigación, como está delineado en la 5ta Declaración de Helsinki, y la preservación de la privacidad de las participantes fue aceptada por el comité nacional del Centro noruego para los datos de la investigación. El estudio también se dirigió de acuerdo con las pautas éticas de la Universidad de Noruega Western de Ciencias Aplicadas y leyes y regulaciones noruegas. La persona representada en este manuscrito (Figura 1) ha dado su consentimiento informado por escrito (como se describe en el formulario de consentimiento PLOS) para publicar esos detalles del caso.



Figura 1. Posición inicial para a) press de piernas, b) extensión de piernas, y c) patada de glúteo.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540.g001>

Procedimientos

Toda la evaluación y el entrenamiento se dirigió entre enero y marzo del 2019. Una sesión de familiarización se realizó 72 horas antes de los tests experimentales. La sesión de familiarización fue usada para establecer la 6MR de las participantes y determinar los arreglos individuales para las máquinas usadas en el entrenamiento y en la evaluación (por ejemplo, posición del asiento y colocación del pie). Se realizó la entrada en calor y la evaluación de la fuerza en la familiarización, idéntico a lo descrito abajo para el test experimental. El orden del ejercicio se aleatorizó para cada participante y fue idéntico en la sesión de familiarización y en los tests experimentales. Los coeficientes de correlación de intraclass para las 6MR entre la sesión de familiarización y la sesión experimental fue de 0.989 a 0.994, y el coeficiente de variación fue de 1.46%.

Antes de la evaluación, una entrada en calor ligera de 10 minutos se realizó ya sea en un cicloergómetro o en una cinta ergométrica, seguido por 4 series de precalentamiento de press de piernas con una carga progresiva en base a la estimación auto-reportada de las participantes de 1MR: 1) 20 repeticiones al 30%, 2) 12 repeticiones al 50%, 3) 6 repeticiones al 70%, y 4) 2 repeticiones al 80% de 1MR [28]. Tres minutos de pausa eran dados entre cada serie de precalentamiento y entre la entrada en calor y la evaluación [11].

El press dinámico de piernas, la extensión de piernas y la patada de glúteo se realizaron en máquinas de entrenamiento comerciales estándares (Technogym Selection; Cesena, Italia). Se colocó un *encoder* lineal (ET-Enc-02, Ergotest Innovation A / S, Porsgrunn, Noruega) con una frecuencia de muestreo de 100Hz perpendicularmente debajo de los platos de pesas para identificar la posición superior e inferior para cada repetición. El *encoder* se sincronizó con medidas de EMG utilizando el software MuscleLab (v. 8.13, Ergotest Innovation A / S, Porsgrunn, Noruega). Aunque las 6MR se identificaron durante la sesión de familiarización, a las participantes se les dio hasta tres intentos en la sesión experimental para garantizar que se encontrara la carga correcta. Se dio un descanso de 3-5 minutos entre cada intento de 6MR y entre cada ejercicio. Las repeticiones se realizaron en un tiempo controlado, pero auto-seleccionado sin pausa entre las repeticiones. Cuando se completaban 6 repeticiones con éxito, la carga era aumentada por 0.5-2.5kg hasta el fallo. Las 6MR se lograron dentro de un a tres intentos. En todos los tests dinámicos, una cinta adhesiva blanca se puso en los cargadores de peso indicando cuándo una extensión completa era alcanzada. Las participantes recibieron instrucciones de finalizar la fase excéntrica justo antes de que se tocaran los platos de pesas. Se dio estímulo verbal y un '*feedback*' para garantizar un rango completo de movimiento en cada repetición.

El test de 6MR en el press de piernas se realizó con los pies separados aproximadamente el ancho de los hombros y ligeramente evertidos (10-20°). Las participantes recibieron instrucciones de mantener las rodillas perpendicularmente por encima de la punta de los pies y evitar la aducción de las rodillas. Las participantes se tomaban de las manijas de la máquina con las manos para evitar levantar la cadera del asiento (Figura 1A). La posición inicial era de 90° de flexión en la articulación de la rodilla y 70° en la articulación de la cadera, medida con un goniómetro. Una repetición completa consistió en extender las articulaciones de la rodilla y la cadera a 180° y 150°, respectivamente, antes de bajar a la posición inicial.

La posición inicial para la extensión dinámica de piernas era una flexión de 90° en las articulaciones de la rodilla y la cadera. Las participantes recibieron instrucciones de agarrarse de las manijas de la máquina para evitar la elevación de la cadera desde el asiento. El refuerzo de la pantorrilla se ajustó aproximadamente 5 centímetros por encima de la articulación del tobillo (Figura 1B). Una repetición consistió en extender completamente la articulación de la rodilla (180°) antes de volver a la posición inicial a un ritmo controlado. La posición inicial para la patada de glúteo era de pie con la cresta ilíaca apoyada en el cabezal frontal de la máquina con un ángulo de 90° en la articulación de la cadera (Figura 1C). Se aceptaba una repetición completa después de extender completamente la articulación de la cadera (180°, la pierna alineada con la parte superior del cuerpo) y llevar la pierna de regreso a la posición inicial sin elevar la parte superior del cuerpo desde el refuerzo frontal.

El tests de fuerza isométrica se realizó en las mismas máquinas que se usaron para las pruebas dinámicas. Se aplicaron cadenas para fijar las máquinas en la posición inicial (Figura 1A - 1C) mientras los participantes intentaban extender sus piernas con el máximo esfuerzo durante 5 segundos. Se conectó un sensor de fuerza (Ergotest Innovation A / S, Porsgrunn, Noruega) a las cadenas para registrar la generación de fuerza. Los resultados se analizaron con el software MuscleLab (v. 8.13, Ergotest Innovation A / S, Porsgrunn, Noruega). El estímulo verbal y un feedback visual de la fuerza aplicada se dieron para motivar a las participantes. La fuerza isométrica voluntaria máxima (MVIC) se calculó a partir de la media de 3 segundos con la generación de fuerza promedio más alta. Se dieron dos intentos con 3 minutos de descanso entre los intentos, y el mejor resultado se utilizó en los análisis.

Para medir la actividad EMG durante los ejercicios de press de piernas y extensión de piernas, se usaron electrodos recubiertos de gel (electrodos sEMG circulares de plata Dri-stick AE-131, NeuroDyne Medical, EE. UU.; Diámetro de contacto de 11 mm y distancia de centro a centro de 2 cm). Después de una cuidadosa preparación de la piel de acuerdo

con las recomendaciones de SENIAM (es decir, afeitado, abrasión y limpieza con alcohol), los electrodos se colocaron a lo largo de la presumida dirección de la fibra muscular de los músculos recto femoral, vasto medial y vasto lateral [21]. Todos los electrodos se colocaron en la pierna dominante. La colocación de los electrodos en relación con los puntos de referencia anatómicos fue la siguiente: en el punto medio de la espina iliaca anterior superior a la parte superior de la rótula para el recto femoral, cuatro quintos del camino hacia abajo de la línea entre la espina iliaca anterior superior y el espacio articular frente al borde anterior del ligamento medial para el vasto medial, y dos tercios de la línea descendente desde la espina iliaca anterior superior al lado lateral de la rótula para el vasto lateral (www.seniam.org). Para reducir el ruido del entorno, las señales EMG sin procesar se amplificaron y se filtraron utilizando un preamplificador ubicado cerca del punto de muestreo. El preamplificador tenía una relación de rechazo de modo común de 100 dB y una frecuencia de muestreo de 8-600Hz. Las señales EMG se convirtieron en señales de raíz cuadrada media (RMS) utilizando una red de circuito de hardware (respuesta de frecuencia 0-600 kHz, promediando 100 ms constantes y error total $\pm 0.5\%$). La señal RMS convertida se muestreó a una frecuencia de 100 Hz utilizando un convertidor A/D de 16 bits. La sincronización del *encoder* de desplazamiento lineal con los datos RMS se usó para identificar la ventana de tiempo para la recolección de la señal RMS. Los datos EMG almacenados se analizaron con el software comercial MuscleLab (v.8.13, Ergotest Innovation A/S, Porsgrunn, Noruega). Los valores medios de RMS de las 6 repeticiones (desde el inicio de la primera repetición hasta el final de la última repetición) en las pruebas dinámicas se utilizaron para el cálculo de los valores de RMS utilizados en los análisis [29].

Intervención

El entrenamiento se realizó 2-3 veces por semana en días no consecutivos durante un período de 8 semanas y todas las sesiones fueron supervisadas por profesionales del ejercicio. Todas las participantes asistieron a todas las sesiones de entrenamiento prescritas. La intensidad del precalentamiento y el número de series de calentamiento fueron idénticos a los descritos anteriormente para las sesiones de prueba. El grupo SJ entrenó patada de glúteo y extensiones de piernas, mientras que el grupo MJ realizó press de piernas. En consecuencia, el grupo SJ realizó el doble de series que el grupo MJ, pero las series se dividieron entre los dos grupos musculares. La progresión en series y repeticiones por ejercicio a lo largo de la intervención se presenta en la Tabla 2. Aunque la máquina de patada de glúteo sólo permitió entrenamiento y tests unilaterales, las participantes entrenaron en ambos lados. Si todas las series dentro de una sesión se completaban con el número prescrito de repeticiones y con un rango de movimiento y técnica adecuados (según la evaluación continua de los supervisores), la resistencia se aumentaba en 0.5-2.5 kg para la siguiente sesión [7]. Los volúmenes totales de entrenamiento para los grupos MJ y SJ se calcularon como la carga absoluta levantada a lo largo de la intervención (series \times repeticiones \times carga). Esto incluyó sólo el press de pierna para el grupo MJ, y la acumulación de extensión de pierna y pata de glúteo para el grupo SJ. Se dieron tres minutos de descanso entre las series. Para la patada de glúteo, los tres minutos comenzaban cuando la primera pierna estaba ya completada.

Tabla 2. Progresión en series y repeticiones a lo largo del período de intervención.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540.t002>

Weeks	Weekly sessions	Sets per session	Repetitions per set	Repetitions per session	Repetitions per week
1	2	3	10	30	60
2	2	3	10	30	60
3	2	3	10	30	60
4	2	4	8	32	64
5	2	4	8	32	64
6	3	4	6	24	72
7	3	4	6	24	72
8	2	3	10	30	60

The values represent one exercise per muscle group. The SJ group performed twice the number of repetitions as the MJ group, but divided between the knee extensors and hip extensors.

Análisis estadístico

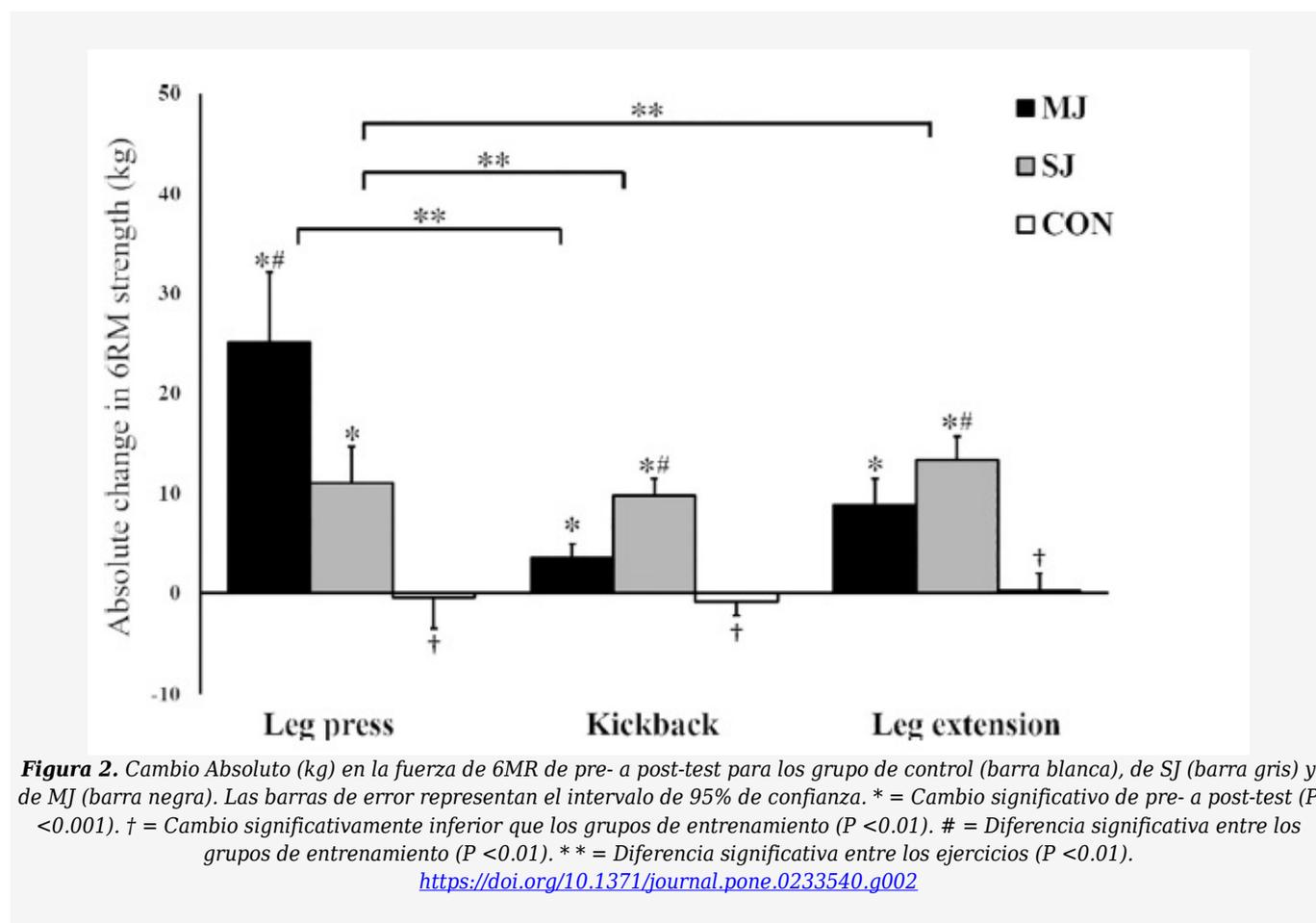
Se utilizó el SPSS versión 25.0 (SPSS, Inc., Chicago, Illinois, EE. UU.) para los análisis estadísticos. La inspección visual de los histogramas y la prueba de Shapiro-Wilk se utilizaron para examinar si los datos se distribuían normalmente. Se utilizó un análisis de covarianza (ANCOVA) con pruebas post-hoc de Bonferroni utilizando los resultados previos a la prueba como covariable para analizar las diferencias potenciales entre y dentro de los grupos. Se usaron *t*-tests de muestras

independientes para comparar la carga del entrenamiento acumulada entre los grupos de entrenamiento. La significancia estadística fue aceptada en $P \leq 0.05$. Todos los resultados dentro de los grupos se presentan como medias con un intervalo de confianza del 95% (IC del 95%) y un tamaño del efecto d_z de Cohen (ES), calculado a partir de los puntajes de cambio divididos por su desviación estándar relativa [30]. Los ES d_z de Cohen se interpretaron de la siguiente manera: <0.2 = trivial; $0.2-0.6$ = pequeño; $0.6-1.2$ = moderado; $1.2-2.0$ = grande; $2.0-4.0$ = muy grande; >4.0 = extremadamente grande [31]. Para las diferencias entre grupos y ejercicios, el ES d de Cohen se calculó como la diferencia media entre los grupos, dividida por la desviación estándar agrupada de las puntuaciones de cambio. Los ES d de Cohen se interpretaron de la siguiente manera: <0.2 = trivial; $0.2-0.5$ = pequeño; $0.5-0.8$ = medio; >0.8 = grande [32].

Resultados

Los tres grupos eran homogéneos en el pre-test para todas las variables testeadas ($P = 0.282-0.635$; ver Tabla 1).

El grupo SJ (ES = 1.49-2.75, todos $P < 0.001$) y el grupo MJ (ES = 1.05-1.57, todos $P < 0.001$) aumentaron su fuerza de 6MR en todos los ejercicios, mientras que el grupo de CON no logró ningún cambio (ES = 0.01-0.22, $P = 0.412-0.966$; Figura 2). Hubo diferencias significativas entre los grupos para el cambio en todos los ejercicios ($F = 21.367-37.502$, todos $P < 0.001$). En el press de piernas, el grupo de MJ aumentó más que el grupo SJ (ES = 1.26, $P < 0.002$) y que el grupo CON (ES = 2.21, $P < 0.001$), mientras el grupo de SJ aumentó más que el grupo de CON (ES = 1.82, $P = 0.025$). En la patada de glúteo, el grupo de SJ aumentó más su 6MR que el grupo de MJ (ES = 1.64, $P < 0.001$) y de CON (ES = 3.31, $P < 0.001$), y el grupo de MJ aumentó más que el grupo de CON (ES = 1.43, $P = 0.002$). La fuerza 6MR de extensión de piernas aumentó más en los grupos de SJ y de MJ comparado al grupo de CON (ES = 2.61, $P < 0.001$ y ES = 1.45, $P = 0.001$), mientras que el grupo de SJ aumentó más que el grupo de MJ (ES = 0.51, $P = 0.017$).



Al comparar los cambios en los tres ejercicios dentro de los grupos, el grupo de MJ aumentó su 6MR del press de piernas más que el de la patada de glúteo (ES = 1.10, $P = 0.002$), mientras que ninguna diferencia se observó entre el press de piernas y la extensión de piernas (ES = 0.54, $P = 0.072$) o la extensión de piernas y la patada de glúteo (ES = 0.49, $P = 0.073$). El grupo de SJ mejoró la extensión de piernas (ES = 1.51, $P < 0.001$) y la patada de glúteo (ES = 2.04, $P < 0.001$).

más que el press de piernas, mientras ninguna diferencia se observó entre la extensión de piernas y la patada de glúteo (ES = 0.36, P = 0.373).

Para la MVIC, ninguna diferencia entre grupos se observó en cualquiera de los ejercicios (F = 0.562-2.897, P = 0.067-0.575).

Para las medidas de EMG, los análisis revelaron diferencias significativas entre los grupos para cambios en el recto femoral (F = 5.032, P = 0.010), pero no en el vasto externo (F = 2.277, P = 0.114) o el vasto interno (F = 1.300, P = 0.283). El grupo de SJ aumentó la EMG del recto femoral (ES = 0.65, P = 0.017), y el aumento excedió a los observados en el grupo de CON (ES = 1.10, P = 0.011), pero no fue diferente del grupo de MJ (ES = 0.26, P = 1.000).

Se mostraron diferencias significativas entre los grupos para la EMG del recto femoral (F = 5.567, P = 0.007) y del vasto externo (el F = 3.329, P = 0.044), pero no para el vasto interno (F = 0.422, P = 0.658). Los tests post hoc no revelaron ninguna diferencia entre los grupos para la EMG del vasto externo (P = 0.053-1.000). El grupo de SJ aumentó la EMG en el recto femoral (ES = 0.71, P = 0.008), y el aumento excedió la del grupo de CON (ES = 0.77, P = 0.007). Ningún otros cambio de pre- a post-test se observó en cualquier grupo (ES = 0.01-0.075, P = 0.095-0.847).

El volumen de entrenamiento acumulado no fue diferente entre los grupos en cualquier punto a lo largo de la intervención (4.81-7.71%, P = 0.140-0.350; ver Figura 3). La carga total (kg) levantada después de la intervención era de 55.610±4.695 kg para el grupo de SJ y de 61.456±5.765 kg para el grupo de MJ.

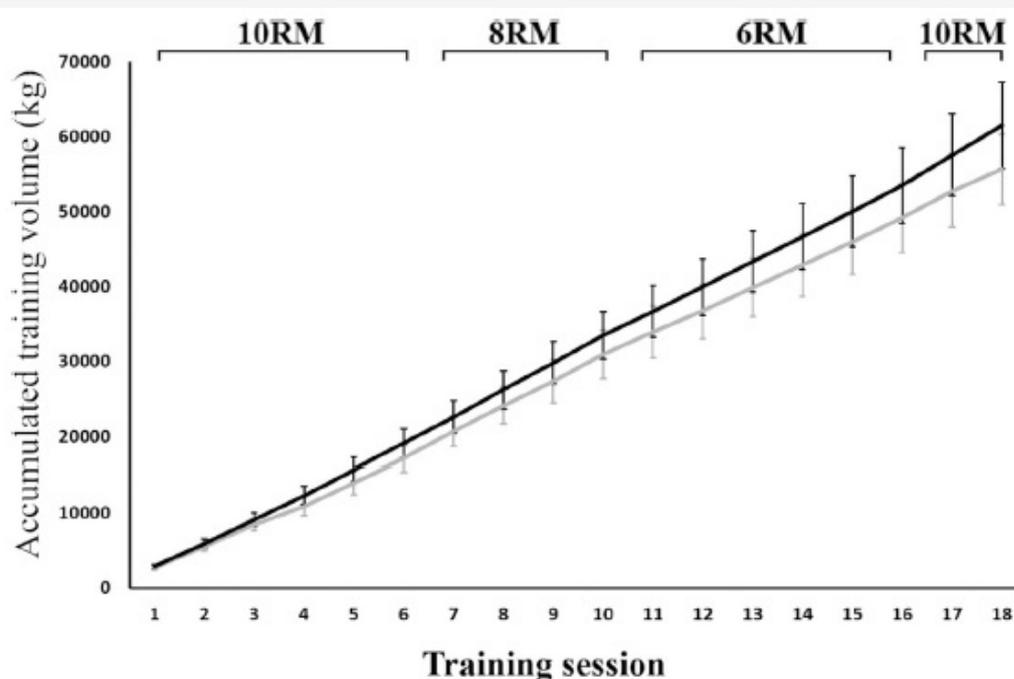


Figura 3. Volumen acumulado (kg) a lo largo del período de entrenamiento para los grupos de SJ (línea gris) y de MJ (línea negra). Las barras de error representan el intervalo de 95% de confianza.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540.g003>

Discusión

Los resultados principales, como fue supuesto, demostraron que ambos grupos de entrenamiento mejoraron su fuerza dinámica en todos los ejercicios, y las mejoras excedieron aquellas observadas en el grupo de CON. Las mejoras en la fuerza dinámica del press de piernas fueron mayores en el grupo de MJ comparado a los grupos de SJ y de CON, y las mejoras en la patada de glúteo y en la extensión de piernas fueron mayores en el grupo de SJ comparado a los grupos de MJ y de CON. Estos resultados demuestran la especificidad de la tarea del movimiento, indicando que la mayor fuerza en un ejercicio específico es mediada en parte por las mejoras coordinativas específicas al ejercicio entrenado.

En línea con la hipótesis, todos los ejercicios dinámicos demostraron la especificidad del ejercicio, ya que ambos grupos de

entrenamiento lograron mejoras superiores en sus ejercicios entrenados comparado a los otros grupos. En base a las mejoras observadas para el grupo de MJ, los ejercicios de press de piernas y de extensión de piernas probable ofrecen estímulos de entrenamiento igualmente eficaces para los músculos extensores de la rodilla porque el mismo rango de movimiento (ángulos 90°-180° de la rodilla) se utiliza en ambos ejercicios. Al contrario, los análisis de las diferencias entre los grupos reveló aún que el entrenamiento del movimiento específico produjo las mejoras máximas. Las mayores mejoras del press de piernas en el grupo de MJ pueden ser explicadas por el principio de especificidad [33]. Dada que el press de piernas es un ejercicio más complejo, la combinación de la fuerza muscular mejorada y el entrenamiento específico del movimiento probablemente resultó en mejoras superiores para el grupo MJ. Más sorprendentemente, los resultados de los ejercicios de una sola articulación contrastan con estudios comparables en los que el entrenamiento de múltiples articulaciones ha sido más efectivo que el entrenamiento de una sola articulación [6,11,18]. Estos hallazgos podrían demostrar la especificidad del movimiento a pesar de las bajas demandas técnicas del ejercicio. Además, el torque extensor de la pierna puede ser diferente entre los ejercicios de una o varias articulaciones [34], alterando así la región en los levantamientos donde la resistencia (carga) es más alta. Por lo tanto, la especificidad observada del ejercicio probablemente representa adaptaciones y familiarización con las demandas biomecánicas individuales de los ejercicios.

Los resultados para los músculos extensores de la cadera podrían estar relacionados al rango de movimiento [35]. Puesto que la máquina del press de piernas mantuvo a las participantes en una posición casi supina con 150° en la articulación de la cadera al terminar la fase concéntrica (la extensión de la cadera completa ocurre a 180°), los músculos extensores de la cadera no fueron identificados en sus restantes 30° del rango de movimiento en este ejercicio. Esto se reflejó por la menor mejora observada en la fuerza de la patada de glúteo comparada a la fuerza del press de piernas por el grupo de MJ. Ya que nosotros no medimos la actividad EMG de los músculos extensores de la cadera, no podemos excluir la posibilidad de que el entrenamiento con el press de piernas también causó una activación superior (es decir, más cerca a la contracción voluntaria máxima) de los músculos extensores de la rodilla comparado a los músculos extensores de la cadera. Sin embargo, dado que la mayor parte del movimiento en el press de piernas ocurre alrededor de la articulación de la rodilla, el estímulo de entrenamiento para los extensores de la cadera probablemente fue mayor para el grupo SJ, que apuntó a los extensores de la cadera a una extensión completa en el ejercicio de patada de glúteo.

La literatura sobre este tema no es concluyente [6,11,17,36] y debido a las variaciones en los enfoques metodológicos, los resultados son difíciles de comparar. Según al conocimiento de los autores, pocos estudios [11,18] han incluido pruebas de fuerza de los ejercicios multi-articulares (sentadilla con barra atrás o press de piernas) y ejercicios de una sola articulación (extensión de rodilla) en el mismo tipo de contracción que se usa en el entrenamiento. Ambos estudios [11,18] reportaron mejoras significativas de 1MR en ambos ejercicios para ambos grupos, pero mayores mejoras en el grupo MJ tanto sus ejercicios entrenados como no entrenados en comparación con el grupo SJ. En el presente estudio, sólo los resultados del press de piernas están de acuerdo con estos hallazgos. Por el contrario, el grupo SJ mejoró la fuerza de la patada de glúteo más que el grupo MJ, y las mejoras en la extensión de piernas no fueron significativamente diferentes entre los dos grupos. Es importante destacar que Paoli y cols. [11] no implementaron ningún ejercicio de una única articulación para los otros músculos motores primarios (extensores de cadera) mientras que Goncalves y cols. [18] implementaron la extensión y flexión de la pierna en lugar de la extensión de la cadera para el grupo SJ. Además, Paoli y cols. [11] utilizaron un mayor número de repeticiones por serie y descansos más cortos para el grupo SJ en comparación con el grupo MJ (12-18MR vs 6-8MR, respectivamente, y de 1.5-2 min vs 2.5-3 min, respectivamente) al equiparar el volumen entre los grupos. En consecuencia, el entrenamiento de múltiples articulaciones fue potencialmente más favorable hacia la prueba de 1MR [10]. En el presente estudio, los períodos de descanso, las cargas relativas y el número de repeticiones fueron idénticos en ambos grupos. Además, el segundo ejercicio para el grupo SJ entrenó a los otros músculos motores primarios en el ejercicio de múltiples articulaciones, lo que probablemente produjo una comparación más válida de los resultados de entrenamiento distintivos después de las dos modalidades de entrenamiento.

Como no se observó ningún cambio en la EMG en el grupo MJ en ningún ejercicio, el aumento y la transferencia de la fuerza dinámica se pueden atribuir a otros mecanismos. Los hallazgos pueden ser sorprendentes, ya que las mejoras en la fuerza de la fase temprana en las participantes no entrenadas se han relacionado estrechamente con el reclutamiento de unidades motoras [8,19]. Otras posibles explicaciones incluyen mejoras técnicas o adaptaciones específicas en las características de descarga de las unidades motoras [37]. Alternativamente, los cambios neuromusculares pueden ser más prominentes en los músculos que no se midieron en el presente estudio (por ejemplo, los extensores de cadera o aductores de piernas). De acuerdo con Augustsson y cols. [6], los hallazgos actuales sugirieron que los ejercicios de una sola articulación pueden ser más efectivos que los ejercicios de múltiples articulaciones para aumentar el impulso neural hacia los músculos motores principales. Aún así, los pocos cambios observados en la actividad EMG fueron sólo de significado moderado ($ES = 0.65-0.75$), y debido a las dificultades inherentes de usar medidas de EMG antes y después del testeo (colocación de electrodos en particular), estos resultados deberían ser interpretado con precaución.

Con respecto a las medidas isométricas, ninguno de los grupos de entrenamiento logró mejoras que superaron al grupo CON en ningún ejercicio. A pesar de las muy bajas demandas técnicas de las pruebas isométricas, el aumento de la fuerza después del entrenamiento de múltiples articulaciones no fue transferible a los ejercicios de una sola articulación dirigidos

a los grupos musculares entrenados. La falta de transferencia de la fuerza entre los ejercicios en la prueba de MVIC podría indicar que la especificidad de la tarea del tipo de contracción utilizada en el entrenamiento es en parte responsable de la alta transferibilidad de la fuerza entre los ejercicios dinámicos [12].

Limitaciones

El presente estudio tuvo algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Como sólo se reclutaron mujeres físicamente activas sin experiencia sistemática en el EF, los hallazgos no necesariamente pueden generalizarse a otras poblaciones. Es importante destacar que no controlamos los hábitos nutricionales de las participantes. Además, las mediciones de EMG sólo se tomaron en los músculos superficiales del cuádriceps, mientras que no se tomaron medidas para los músculos antagonistas u otros motores primarios de los ejercicios entrenados (es decir, extensores de cadera). Se podría argumentar que una limitación potencial era que los ejercicios de press y extensión de piernas se realizaban bilateralmente, mientras que la máquina de pata de glúteo sólo permitía entrenar una pierna a la vez. Sin embargo, las ganancias de fuerza en los ejercicios bilaterales y unilaterales para las extremidades inferiores han demostrado ser transferibles entre sí [4]. Además, ambos grupos realizaron el calentamiento en el press de piernas. Sin embargo, dado que las cargas del calentamiento fueron submáximas y las series no se realizaron al fallo, el calentamiento probablemente no afectó los resultados del entrenamiento. Finalmente, la MVIC sólo se evaluó en el ángulo articular más pequeño utilizado en el entrenamiento (90°). Se puede especular que se podrían haber encontrado otros resultados si se evaluaban varios ángulos articulares.

Conclusiones

La fuerza dinámica mejorada en todos los ejercicios evaluados demostró ser más alcanzable al entrenar ejercicios específicos, y el entrenamiento de una o varias articulaciones produjeron mejoras en la fuerza dinámica en todos los ejercicios que excedieron los cambios observados en el grupo CON. Por el contrario, no se observaron diferencias entre grupos para la fuerza isométrica. Estos resultados pueden indicar especificidad tanto del ejercicio como del tipo de contracción utilizado en el entrenamiento.

El presente estudio sugirió que se puede alcanzar una mayor fuerza en todos los ejercicios evaluados mediante la realización de un entrenamiento de una o varias articulaciones. Por lo tanto, los atletas recreativos pueden basar la selección de los ejercicios en las preferencias personales y la disponibilidad del equipo. Sin embargo, si el objetivo es aumentar la fuerza en un ejercicio específico, se debe tener en cuenta la especificidad del ejercicio al diseñar un programa de entrenamiento. Los practicantes que hacen deportes que incluyen principalmente movimientos dinámicos en varias articulaciones deben enfocarse en ejercicios de múltiples articulaciones al entrenarse para mejorar el rendimiento deportivo.

Información de apoyo.

S1 Dataset. Medidas previas y posteriores.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540.s001>

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a las voluntarias por dar su tiempo y esfuerzo para participar en el estudio.

REFERENCIAS

1. Wernbom M, Augustsson J, Thomee R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med.* 2007;37(3):225-64.
2. Sale D, MacDougall D. (1981). Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. *Can J Appl Sport Sci.* 1981;6(2):87-92.
3. Behm DG, Sale DG. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med.* 1993;15(6):374-88.
4. Appleby BB, Cormack SJ, Newton RU. (2019). Specificity and Transfer of Lower-Body Strength: Influence of Bilateral or Unilateral Lower-Body Resistance Training. *J Strength Cond Res.* 2019;33(2):318-26.
5. ACSM. (2009). American College of Sports Medicine position stand. *Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708.
6. Augustsson J, Esko A, Thomee R, Svantesson U. (1998). Weight Training of the Thigh Muscles Using Closed Versus Open Kinetic Chain Exercises: A Comparison of Performance Enhancement. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(1):3-8.
7. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. (2002). American College of Sports Medicine

- position stand. *Progression models in resistance training for healthy adults. Medicine and science in sports and exercise.* 2002;34(2):364-80.
8. Folland JP, Williams AG. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med.* 2007;37(2):145-68.
 9. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. (2011). American College of Sports Medicine position stand. *Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334-59.
 10. Kraemer WJ, Ratamess NA. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(4):674-88.
 11. Paoli A, Gentil P, Moro T, Marcolin G, Bianco A. (2017). Resistance Training with Single vs. Multi-joint Exercises at Equal Total Load Volume: Effects on Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Muscle Strength. *Front Physiol.* 2017;8:1105.
 12. Rutherford OM, Jones DA. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(1):100-5.
 13. Chilibeck PD, Calder AW, Sale DG, Webber CE. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;77(1-2):170-5.
 14. Gentil P, Fisher J, Steele J. (2016). A Review of the Acute Effects and Long-Term Adaptations of Single- and Multi-Joint Exercises during Resistance Training. *Sports Med.* 2016;47(5):843-55.
 15. Schoenfeld B, Grgic J, Haun C, Itagaki T, Helms E. (2019). Calculating Set-Volume for the Limb Muscles with the Performance of Multi-Joint Exercises: Implications for Resistance Training Prescription. *Sports.* 2019;7(7):177.
 16. Gentil P, Soares SR, Pereira MC, da Cunha RR, Martorelli SS, Martorelli AS, et al. (2013). Effect of adding single-joint exercises to a multi-joint exercise resistance-training program on strength and hypertrophy in untrained subjects. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(3):341-4.
 17. Gentil P, Soares S, Bottaro M. Single vs. (2015). Multi-Joint Resistance Exercises: Effects on Muscle Strength and Hypertrophy. *Asian J Sports Med.* 2015;6(1).
 18. Goncalves A, Gentil P, Steele J, Giessing J, Paoli A, Fisher JP. (2019). Comparison of single- and multi-joint lower body resistance training upon strength increases in recreationally active males and females: a within-participant unilateral training study. *Eur J Transl Myol.* 2019;29(1):8052-.
 19. Del Vecchio A, Casolo A, Negro F, Scorcelletti M, Bazzucchi I, Enoka R, et al. (2019). The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *J Physiol.* 2019;597(7):1873-87.
 20. Sale DG. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20(5 Suppl):S135-45.
 21. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985). 2002;93(4):1318-26.
 22. Moritani T, deVries HA. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med.* 1979;58(3):115-30.
 23. Hakkinen K, Alen M, Komi PV. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand.* 1985;125(4):573-85.
 24. Ebben WP, Feldmann CR, Dayne A, Mitsche D, Alexander P, Knetzger KJ. (2009). Muscle activation during lower body resistance training. *Int J Sports Med.* 2009;30(1):1-8.
 25. Da Silva EM, Brentano MA, Cadore EL, De Almeida AP, Krueel LF. (2008). Analysis of muscle activation during different leg press exercises at submaximum effort levels. *J Strength Cond Res.* 2008;22(4):1059-65.
 26. Gómez-López M, Gallegos AG, Extremera AB. (2010). Perceived barriers by university students in the practice of physical activities. *J Sports Sci Med.* 2010;9(3):374-81.
 27. Choi J, Lee M, Lee J-K, Kang D, Choi J-Y. (2017). Correlates associated with participation in physical activity among adults: a systematic review of reviews and update. *BMC Public Health.* 2017;17(1):356-.
 28. Saeterbakken AH, Van Den Tillaar R, Fimland MS. (2011). A comparison of muscle activity and 1-RM strength of three chest-press exercises with different stability requirements. *J Sport Sci.* 2011;29(5):533-8.
 29. Saeterbakken AH, Fimland MS. (2012). Muscle activity of the core during bilateral, unilateral, seated and standing resistance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(5):1671-8.
 30. Dankel SJ, Loenneke JP. (2018). Effect Sizes for Paired Data Should Use the Change Score Variability Rather Than the Pre-test Variability. *J Strength Cond Res.* 2018.
 31. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3-13.
 32. Cohen J. (1988). *Statistical Power for the Behavioral Sciences.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
 33. Buckner SL, Jessee MB, Mattocks KT, Mouser JG, Counts BR, Dankel SJ, et al. (2017). Determining Strength: A Case for Multiple Methods of Measurement. *Sports Med.* 2017;47(2):193-5.
 34. Ema R, Sakaguchi M, Akagi R, Kawakami Y. (2016). Unique activation of the quadriceps femoris during single- and multi-joint exercises. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(5):1031-41.
 35. Barbalho M, Coswig V, Souza D, Serrao JC, Campos MH, Gentil P. (2020). Back Squat vs. Hip Thrust Resistance-training Programs in Well-trained Women. *Int J Sports Med.* 2020.
 36. Thorstensson A, Karlsson J, Viitasalo JH, Luhtanen P, Komi PV. (1976). Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand.* 1976;98(2):232-6.
 37. Duchateau J, Semmler JG, Enoka RM. (1985). Training adaptations in the behavior of human motor units. *J Appl Physiol.* 2006;101(6):1766-75.

Cita Original

Stien N, Pedersen H, Ravnøy AH, Andersen V, Saeterbakken AH (2020) Training specificity performing single-joint vs. multi-joint resistance exercises among physically active females: A randomized controlled trial. PLoS ONE 15(5): e0233540. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540>