

Selected Papers from Impact

Efectos del Entrenamiento de la Fuerza Tradicional y de la Fuerza Funcional de 6 Semanas sobre la Rigidez Arterial y la Fuerza Muscular en Hombres Jóvenes Saludables

Effects of 6-Week Traditional and Functional Resistance Training on Arterial Stiffness and Muscular Strength in Healthy Young Men

Zuo Chongwen¹, Li Qing¹, Li Zhang¹ y Bo Shumin²¹Graduate Department, Capital University of Physical Education and Sports, Beijing, China²School of Kinesiology and Health, Capital University of Physical Education and Sports, Beijing, China

RESUMEN

El presente estudio investigó los efectos del entrenamiento de la fuerza tradicional (EFT) y el entrenamiento de la fuerza funcional (EFF) sobre la rigidez arterial y la fuerza muscular en hombres jóvenes sanos. Métodos: este ensayo controlado aleatorizado incluyó a 29 hombres jóvenes sanos no entrenados de 18 a 29 años que se dividieron aleatoriamente en dos grupos, a saber, el grupo EFT (n = 15) y el grupo EFF (n = 14). Todos los participantes se sometieron a numerosas pruebas, como las de composición corporal, índice vascular cardio-tobillo, presión arterial, frecuencia cardíaca y fuerza máxima antes y después del programa de entrenamiento de 6 semanas. El entrenamiento físico comprendía de ejercicios de entrenamiento de la fuerza de todo el cuerpo 3 días a la semana durante 6 semanas. El volumen total de entrenamiento y el número de series (4-5 series) se mantuvieron constantemente similares en cada grupo. El grupo EFT completó 4-5 series de 8-12 repeticiones [70% de 1RM], mientras que el grupo EFF completó 4-5 series de 15-22 repeticiones (40% 1RM). Resultados: Los grupos EFT y EFF exhibieron un aumento de la fuerza máxima igualmente significativo (dentro del grupo: ambos $p < 0.01$). Además, el t-test independiente mostró que las diferencias entre los dos grupos en términos de cambios en la fuerza máxima no fueron significativas (entre grupos: ambos $p > 0.05$). Además, se observaron efectos principales significativos del tiempo (pre vs post) para los índices vasculares cardio-tobillo izquierdo y derecho ($p < 0.05$); sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los grupos. Para las medidas de resultado de la composición corporal, no se observaron diferencias significativas entre los grupos. Conclusión: Seis semanas de EFT y EFF no presentan diferencias en términos de efectos sobre la rigidez arterial y la fuerza muscular.

Palabras Clave: rigidez arterial; índice vascular cardio-tobillo; entrenamiento de resistencia funcional; entrenamiento de resistencia; salud vascular

ABSTRACT

Background: The present study investigated the effects of traditional resistance training (TRT) and functional resistance training (FRT) on arterial stiffness and muscular strength in healthy young men. **Methods:** This randomized controlled trial included 29 untrained healthy young men aged 18-29 years who were randomly divided into two groups, namely, TRT group (n = 15) and FRT group (n = 14). All participants underwent numerous tests, such as those for body composition, cardio-ankle vascular index, blood pressure, heart rate, and maximal strength before and after the 6-week training program. The exercise training comprised whole-body strength training exercises 3 days a week for 6 weeks. The total training volume and number of sets (4-5 sets) were kept constantly similar in each group. The TRT group completed 4-5 sets of 8-12 repetitions [70% of 1 repetition maximum (1RM)], whereas the FRT group completed 4-5 sets of 15-22 repetitions (40% 1RM). **Results:** The TRT and FRT groups exhibited equally significantly increased maximal strength (within group: both $p < 0.01$). Furthermore, the independent t-test showed that the differences between the two groups in terms of changes in maximal strength were no significant (between group: both $p > 0.05$). Additionally, significant main effects of time (pre vs. post) were observed for the left and right cardio-ankle vascular indices ($p < 0.05$); however, no significant difference were observed between the groups. For body compositions outcome measures, no significant differences between groups were observed. **Conclusion:** Six weeks of FRT and TRT exhibit no difference in terms of effects on arterial stiffness and muscular strength.

Keywords: arterial stiffness; cardio-ankle vascular index; functional resistance training; resistance training; vascular health

INTRODUCCIÓN

La enfermedad cardiovascular es un importante problema de salud pública. En particular, la inactividad se asocia con el engrosamiento, la deformación o el endurecimiento de la pared arterial, todo lo cual finalmente conduce a un aumento de la rigidez arterial, la presión arterial sistólica y la presión del pulso y una disminución de la función amortiguadora arterial y el flujo sanguíneo. El aumento de la rigidez arterial relacionado con la edad también contribuye a un mayor riesgo de enfermedad cardíaca, hipertensión y enfermedad coronaria isquémica (Tanaka y cols., 1998; Liao y cols., 1999; Alan y cols., 2003). Además, la rigidez arterial es un fuerte predictor independiente de eventos cardiovasculares y mortalidad (Laurent y cols., 2001). Los estudios han identificado y caracterizado los estímulos que aceleran la rigidez arterial, como fumar (Thitiwuthikiat y cols., 2017), beber alcohol (Gonzalez-Sanchez y cols., 2020), sueño insuficiente (Chami y cols., 2016), inactividad y sedentarismo (O'Donovan y cols., 2014). Así, la prevención de eventos cardiovasculares se ha convertido en una estrategia crucial para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares. El Colegio Estadounidense de Medicina Deportiva (ACSM) y la

Asociación Estadounidense del Corazón (AHA) han recomendado el ejercicio aeróbico regular y el entrenamiento de la fuerza como métodos conservadores efectivos para la prevención y el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares y la fragilidad relacionada con el envejecimiento (Williams y cols., 2007; ACSM 2018).

Se ha informado que el ejercicio aeróbico regular inhibe el aumento de la rigidez arterial relacionado con el envejecimiento y atenúa la incidencia de enfermedades cardiovasculares en adultos sanos (Siasos y cols., 2016; Sardeli y cols., 2018). Sin embargo, queda por determinar la relación entre el entrenamiento de la fuerza y la progresión de la rigidez arterial (Li y cols., 2015b; Evans y cols., 2018). Un estudio transversal indicó que los hombres jóvenes con experiencia en entrenamiento de la fuerza tienen arterias periféricas más rígidas que sus pares sedentarios (Miyachi y cols., 2003). Además, un estudio informó que el entrenamiento de la fuerza está asociado con una presión sistólica alta, lo que lleva a un alto estrés en las paredes arteriales y podría ser el factor principal para un aumento en la rigidez arterial (Johnson, 2001). Este hallazgo indica que el entrenamiento de la fuerza puede tener algunos efectos adversos sobre las arterias. Específicamente, algunos estudios han informado que las personas jóvenes y de mediana edad que se sometieron al entrenamiento de la fuerza tradicional (EFT; al menos tres veces por semana) demostraron niveles más altos de rigidez arterial que sus pares inactivos (Miyachi y cols., 2004; Cortez-Cooper y cols., 2005; Rakobowchuk y cols., 2005; Okamoto y cols., 2006). La evidencia también sugiere que el entrenamiento de la fuerza puede no tener ningún efecto desfavorable sobre la rigidez arterial en adultos de mediana edad (Cortez-Cooper y cols., 2008; Yoshizawa y cols., 2009). Además, un meta-análisis (Ceciliato y cols., 2020) y dos ensayos controlados aleatorios (Casey y cols., 2007; Werner y cols., 2019) informaron que el entrenamiento de la fuerza a largo plazo (un promedio de tres veces por semana) causa sin cambios en la rigidez arterial entre individuos jóvenes sanos (edad promedio, 29 años). Aunque el EFT es efectivo para mejorar la masa y la función del

músculo esquelético y revertir la osteoporosis (Pollock y cols., 2000), se justifican más estudios para determinar su efecto sobre la rigidez arterial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

El estudio actual fue diseñado como un ensayo controlado aleatorio. Todos los participantes fueron asignados al azar utilizando el sitio web1 (Social Psychology Network, Connecticut, Estados Unidos) en un grupo de EFT de 6 semanas o en un grupo de EFF. El ensayo se registró prospectivamente en <http://www.chictr.org.cn/> como ChiCTR2100048485. La aprobación ética fue otorgada por el Comité de Ética de la Educación Física y el Deporte de la Universidad Capital. Previo al inicio del estudio, todos los participantes fueron informados de los riesgos y requisitos del programa de entrenamiento, y se obtuvo el consentimiento voluntario de todos ellos. Además, el estudio se realizó respetando la declaración CONSORT (Schulz y cols., 2010).

Participantes

El tamaño de la muestra se estimó con base a un diseño experimental similar (Ozaki y cols., 2013). En vista de un tamaño del efecto $f^2 = 0.30$, con una potencia de 0.80 y un nivel de significación de 0.05 (Cohen, 1992), el tamaño mínimo de la muestra de 24 (12 por grupo) se encontró adecuado usando medidas repetidas dentro y entre la interacción (G*Power 3.1; Heinrich Heine, Dusseldorf, Alemania). Teniendo en cuenta la pérdida de muestra del 15%, se consideró suficiente un tamaño de muestra de 28 para el presente estudio. Un total de 31 personas no entrenadas se ofrecieron como voluntarias para participar en este estudio. Todos los participantes fueron evaluados inicialmente en la Universidad Capital de Educación Física y Deportes en el distrito de Haidian, Beijing, China, y fueron reclutados a través de anuncios impresos y del boca en boca. Los criterios de exclusión fueron: (1) los participantes recibieron entrenamiento regular de fuerza y entrenamiento aeróbico durante al menos 6 meses antes del inicio del estudio; (2) aquellos con presión arterial anormal ($>140/90$ mmHg); (3) aquellos que regularmente fuman o beben alcohol; (4) aquellos con ingesta regular de cualquier suplemento dietético o medicamento; (5) y aquellos con arritmia cardíaca, enfermedad arterial periférica y lesiones deportivas. Abandonaron dos participantes por motivos personales, por lo que se incluyeron 29 participantes que cumplieron con las condiciones de reclutamiento. Todos los participantes fueron asignados aleatoriamente al grupo EFT ($n = 15$) o al grupo EFF ($n = 14$). Se instruyó a los participantes en ambos grupos para que evitaran asistir a cualquier entrenamiento de la fuerza adicional o entrenamiento deportivo aeróbico y que mantuvieran un hábito alimentario normal durante el período de entrenamiento de 6 semanas.

INTERVENCIÓN

Recopilación de datos y variables de resultado

Los datos se recopilaron entre el 10 de julio de 2021 y el 30 de agosto de 2021. Todos los participantes terminaron las pruebas de datos de referencia en la primera semana. En caso de que algún participante desarrollara una lesión deportiva o decidiera abandonar, la intervención se finalizaba antes. Los resultados primarios fueron la rigidez arterial y la fuerza muscular, mientras que la variable secundaria fue la composición corporal. Un administrador de laboratorio midió la rigidez arterial y la composición corporal, mientras que un entrenador experimentado midió la fuerza muscular.

Protocolos EFT y EFF

Los participantes de ambos grupos fueron entrenados 3 días a la semana durante 6 semanas consecutivas. El programa de entrenamiento comprendía un entrenamiento de cuerpo completo y cinco ejercicios, a saber, sentadilla con barra para las extremidades inferiores, press de banco horizontal para los músculos del pecho, peso muerto para los músculos de la espalda y las piernas, curl de brazos para los bíceps y flexión de piernas sentado. Se pidió a los participantes que realizaran un ejercicio de calentamiento y de vuelta a la calma, que incluía estiramientos estáticos y dinámicos, antes y después de la intervención del entrenamiento. Los participantes en el grupo EFT realizaron 4-5 series de 8-12 repeticiones al 70% de su máximo de 1 repetición (1RM) hasta la fatiga volitiva, con 1-2 min de descanso entre las series. El grupo EFF realizó y mantuvo los mismos ejercicios de entrenamiento que el grupo EFT; sin embargo, se usaron dispositivos inestables (por ej., pelota BOSU, pelotas giratorias y discos de equilibrio) para aumentar tanto la fuerza central del tronco como la

demanda neuromotora y propioceptiva en este grupo. Una condición de entrenamiento inestable puede no proporcionar la misma intensidad de sobrecarga que un EFT en condiciones estables (Kibele y Behm, 2009). Los participantes realizaron press de banco horizontal, peso muerto y sentadillas con barra en una swiss ball, el disco de equilibrio y el balón BOSU, respectivamente. Además, se realizaron columpios con pesas rusas y sentadillas splits búlgaras en la pelota BOSU. Con respecto a las repeticiones del grupo EFF, cada repetición de entrenamiento de serie del grupo EFF se calculó por el volumen de entrenamiento total (70% 1RM levantando peso × repetición) del grupo EFT porque la serie de entrenamiento y el período de descanso fueron los mismos entre ambos grupos EFT y EFF. Controlamos el equivalente del volumen total de entrenamiento entre los dos grupos, y la repetición en el grupo EFF se calculó utilizando la siguiente fórmula: $70\% \text{ 1RM de peso levantado (kg)} \times \text{repetición (grupo EFT)} / 40\% \text{ 1RM hasta fatiga volitiva}$. Por lo tanto, el grupo EFF realizó 4-5 series de 15-22 repeticiones al 40% 1RM, con un período de descanso similar entre las series. La Tabla 1 presenta el protocolo de entrenamiento específico de 1 a 3 semanas y de 3 a 6 semanas para ambos grupos. Las evaluaciones de fuerza para todos los participantes se realizaron nuevamente después de 3 semanas de intervención para garantizar que los participantes reajustaran las intensidades de entrenamiento en función de las ganancias de fuerza. Para minimizar cualquier posible variabilidad inducida por la dieta en la medición de la fuerza muscular y la composición corporal, se pidió a los participantes de ambos grupos que mantuvieran hábitos dietéticos normales y evitaran comer en exceso. Además, se les pidió que se abstuvieran de cualquier ejercicio aeróbico durante todo el estudio.

Tabla 1. Protocolo de entrenamiento de la fuerza durante 6 semanas para el grupo EFT y el grupo EFF

Variables	Group	S	Rep	TI (KG)	Rest	TV (KG)
1-3 week						
Barbell Squat	TRT	4-5	12	70%1RM (81.2)	1-2 min	974.4
Bench Press		4-5	12	70%1RM (52.5)	1-2 min	630
Deadlift		4-5	12	70%1RM (82.5)	1-2 min	990
Reverse Arm Curl		4-5	15	10kg	1-2 min	150
Leg Flexion		4-5	15	70%1RM (29)	1-2 min	435
						3179.4
Barbell Squat&BOSU	FRT	4-5	16-20	40%1RM (54.8)	1-2 min	876.8-1,096
Bench Press&Swissball		4-5	16-20	40%1RM (35.5)	1-2 min	568-710
Deadlift&BOSU		4-5	16-20	40%1RM (55.7)	1-2 min	891.2-1,114
Kettlebell Swing&BOSU		4-5	15	20kg	1-2 min	300
Bulgarian Split Squats &BOSU		4-5	15	16kg	1-2 min	240
						2,876-3,460
3-6 week						
Barbell Squat	TRT	4-5	12	70%1RM (95.6)	1-2 min	1147.2
Bench Press		4-5	12	70%1RM (60)	1-2 min	720
Deadlift		4-5	12	70%1RM (91)	1-2 min	1,092
Reverse Arm Curl		4-5	15	15kg	1-2 min	225
Leg Flexion		4-5	15	70%1RM (32.5)	1-2 min	487.5
						3671.7
Barbell Squat&BOSU	FRT	4-5	17-21	40%1RM (61.1)	1-2 min	1038.7-1283.1
Bench Press&Swissball		4-5	18-22	40%1RM (36.4)	1-2 min	655.2-800.8
Deadlift&BOSU		4-5	18-22	40%1RM (55.2)	1-2 min	999-1,221
Kettlebell Swing&BOSU		4-5	15	24kg	1-2 min	360
Bulgarian Split Squats &BOSU		4-5	15	20kg	1-2 min	300
						3352.9-3964.9

S, sets; Rep, repetitions; TI, training intensity; TV, training volume, KG, average kilo gram.

Evaluación de la rigidez arterial

Los estudios han informado que el índice vascular corazón-tobillo (CAVI) es un dispositivo novedoso, no invasivo e independiente de la presión arterial VS-1500AE/AN (Fukuda Denshi, Tokio, Japón) para evaluar la rigidez arterial sistémica (Shirai y cols., 2011; Koshiha and Maeshima, 2019), que se ha aplicado con éxito en hombres jóvenes sanos (Li y cols., 2015a). En teoría, el índice vascular cardio-tobillo se ajustaba independientemente de la presión arterial (Shirai y cols., 2011). El grado de arterioesclerosis aumenta con el aumento del índice vascular corazón-tobillo (CAVI), que se relaciona con el riesgo de enfermedad cardiovascular (Shirai y cols., 2011). Todos los participantes estuvieron sentados durante 15 min en una habitación tranquila y climatizada (23-25°C), según el método descrito por Cortez-Cooper y cols. (Cortez-Cooper y cols., 2003). Se pidió a los participantes que ayunaran al menos 6 hs y evitaran la ingesta de cafeína y alcohol durante 12 hs antes de la prueba. Antes de la evaluación, se envolvió un manguito de presión arterial alrededor de la parte superior del brazo derecho del participante en posición supina, se colocó un micrófono de ecografía cardíaca en el borde paraesternal izquierdo del cuarto espacio interno y luego se midió la presión arterial sistólica y diastólica braquial usando el método oscilométrico y la frecuencia cardíaca se registraron utilizando el módulo de electrocardiograma del dispositivo VaSera. Finalmente, se colocaron electrodos de electrocardiograma tanto en la arteria femoral como en la carótida. Todo el procedimiento de medición del CAVI y la presión arterial cumplió estrictamente con la recomendación (Sun, 2013) y la guía (Pickering y cols., 2005), respectivamente. De acuerdo con la guía, se tomaron un mínimo de dos lecturas de presión arterial a intervalos de al menos 1 min, y el promedio de dos lecturas se utilizaría para representar la presión arterial del participante. Si hay una diferencia de >5 mm Hg entre las dos lecturas, se deben obtener lecturas adicionales (1 o 2) y luego se usa el promedio de estas lecturas múltiples. Sin embargo, como se describe en la recomendación, el CAVI era teóricamente independiente de los cambios en la presión arterial y usamos el promedio de esas lecturas como la presión arterial del participante. Los índices vasculares del tobillo izquierdo y derecho se calcularon automáticamente mediante un electrocardiograma, un fonocardiograma y formas de onda braquial y tibial (Li y cols., 2015a). Según un estudio, la fórmula original para calcular el índice vascular corazón-tobillo a partir de los indicadores antes mencionados es la siguiente: $CAVI = a \times (haPWV)^2 [2\rho/(P_{sys} - P_{dia})] \ln(P_{sys}/P_{dia}) + b$, donde P_{sys} representa la presión arterial sistólica, P_{dia} es la presión arterial diastólica, $haPWV$ es PWV desde el origen de la aorta hasta la arteria tibial en el tobillo a través de la arteria femoral, ρ representa la densidad sanguínea y a y b son las constantes para convertir el índice vascular corazón-tobillo a los de la velocidad de la onda del pulso de Hasegawa (Asmar, 2017). Antes de las evaluaciones normales, se colocaron cuatro manguitos estándar alrededor de los brazos y tobillos izquierdo y derecho, con cables de

electrocardiograma conectados a la muñeca y un micrófono ubicado en la parte media del esternón para la fonocardiografía. La longitud vascular (VL) se evaluó indirectamente a partir de la altura de los participantes utilizando la siguiente fórmula (Li y cols., 2015a): $VL = 0.77685 \times \text{altura (cm)} - 1.7536$. El electrocardiograma en la muñeca y el fonocardiograma en la mitad del esternón se utilizaron para detectar la marca inicial de la onda del pulso en el corazón y la articulación del tobillo. Luego, los índices vasculares corazón-tobillo derecho e izquierdo en cada participante se analizaron automáticamente utilizando el dispositivo.

Evaluación de la fuerza máxima de una repetición

Cada participante completó el 1RM inicial y de seguimiento antes y después del programa de entrenamiento de 6 semanas en el mismo orden: sentadilla con barra, press de banco, peso muerto y flexión de piernas sentado. Los tests de 1RM se ajustaron a la prescripción y las pautas del Colegio Americano de Medicina Deportiva (American College of Sports Medicine y cols., 2018). El test de 1RM se midió aumentando gradualmente el peso levantado hasta que cada participante no podía levantar el peso real durante todo el proceso de ejercicio. El test de 1RM se completaba a través de aproximadamente cinco pruebas, con un período de descanso entre cada prueba de aproximadamente 1-2 min. En primer lugar, el participante calentaba durante 5 min en un ergómetro a un nivel de esfuerzo percibido 3 (en la escala CR 10 de Borg), seguido de una familiarización con cada patrón de movimiento de la prueba, especialmente la máquina de flexión de piernas para miembros inferiores. Debido a que los participantes estaban sentados, el ángulo de la cadera era de aproximadamente 110°. Con estímulo verbal, los participantes intentaron realizar una flexión concéntrica de la pierna derecha a partir de la posición extendida de 180° para alcanzar la flexión aproximada de 70° contra una resistencia determinada por las cargas (kg) seleccionadas en el peso de atrás.

Evaluación de la fuerza de agarre

La fuerza de aprensión se evaluó utilizando un dinamómetro manual WCS-99.9 Grip-A (Yilian, Shanghai, China) con una precisión de 0.1 kg. Las manos izquierda y derecha de los participantes se evaluaron dos veces por separado y se registró el valor promedio. El valor relativo de los datos de la fuerza de aprensión promedio se transformó por peso de la siguiente manera: Fuerza de aprensión (N/kg) = valores medidos \times 9.8/peso corporal. La constante 9.8 ilustra el factor de conversión de kg a N.

Composición Corporal y Evaluación Antropométrica

La altura y el peso se midieron con un estadiómetro portátil y una báscula electrónica antes y después de la intervención de entrenamiento de la fuerza regular de 6 semanas. Luego, se calculó el índice de masa corporal según la siguiente fórmula: $IMC = \text{peso (kg)}/\text{talla (m)}^2$. La composición corporal, incluida la grasa corporal y la masa corporal magra, se evaluó mediante impedancia bioeléctrica (Tanita MC-980MA, Tokio, Japón), con los participantes vistiendo ropa ligera y sin calzado. La composición corporal y las medidas antropométricas de los participantes que ayunaron durante la noche (>8 hs) se evaluaron simultáneamente antes y después de la intervención. Este método de detección puede medir cambios en la composición del cuerpo humano con precisión y alta validez (Miyatani y cols., 2012).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con SPSS versión 22.0 Windows (SPSS, Inc., Chicago, IL, Estados Unidos). Todos los datos iniciales y posteriores a la intervención se presentan como media \pm desviación estándar (\pm SD) y se confirmó inicialmente que tenían una distribución normal mediante las pruebas de Bartlett y Levene. La homogeneidad de la varianza se probó antes de realizar más análisis estadísticos. Por lo tanto, no se requirió ninguna transformación.

Se utilizaron t-tests de muestras independientes y un t-test apareado para examinar la diferencia entre los dos grupos al inicio del estudio y las diferencias dentro de los grupos después de la intervención, respectivamente. Las diferencias entre los grupos después de la intervención se analizaron mediante un análisis de varianza de medidas repetidas de dos vías [tiempo (pre vs. post) - grupo (EFT vs. EFF)]. Cuando se encontraron interacciones significativas, se aplicó el t-test de muestras independientes para determinar las diferencias entre los grupos. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0.05$.

Para los parámetros principales, se informa la diferencia media en el cambio (antes y después de las intervenciones) para los dos grupos, y los tamaños del efecto respectivos se calculan como eta cuadrado parcial convertido a d de Cohen, clasificándose como "pequeño" de 0 a 0.2 "medio", de 0.2 a 0.8, y "grande" si era superior a 0.8 (Cohen, 1992).

RESULTADOS

Participantes

De 31 hombres jóvenes evaluados para el estudio, 29 participantes fueron seleccionados, como se muestra en el diagrama de flujo (Figura 1). Dos hombres se retiraron por motivos personales, principalmente lesión de menisco y no participación en la prueba previa. Todos los participantes fueron asignados aleatoriamente al grupo EFT (n = 15) y al grupo EFF (n = 14). La Tabla 2 presenta las principales características de los participantes al inicio del estudio. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en términos de edad, altura, peso corporal e índice de masa corporal. Además, todos los participantes de ambos grupos se adhirieron a las 18 sesiones de entrenamiento programadas durante el período de intervención. No se observaron lesiones relacionadas con el entrenamiento y ninguno de los participantes abandonó el estudio.



CONSORT 2010 Flow Diagram

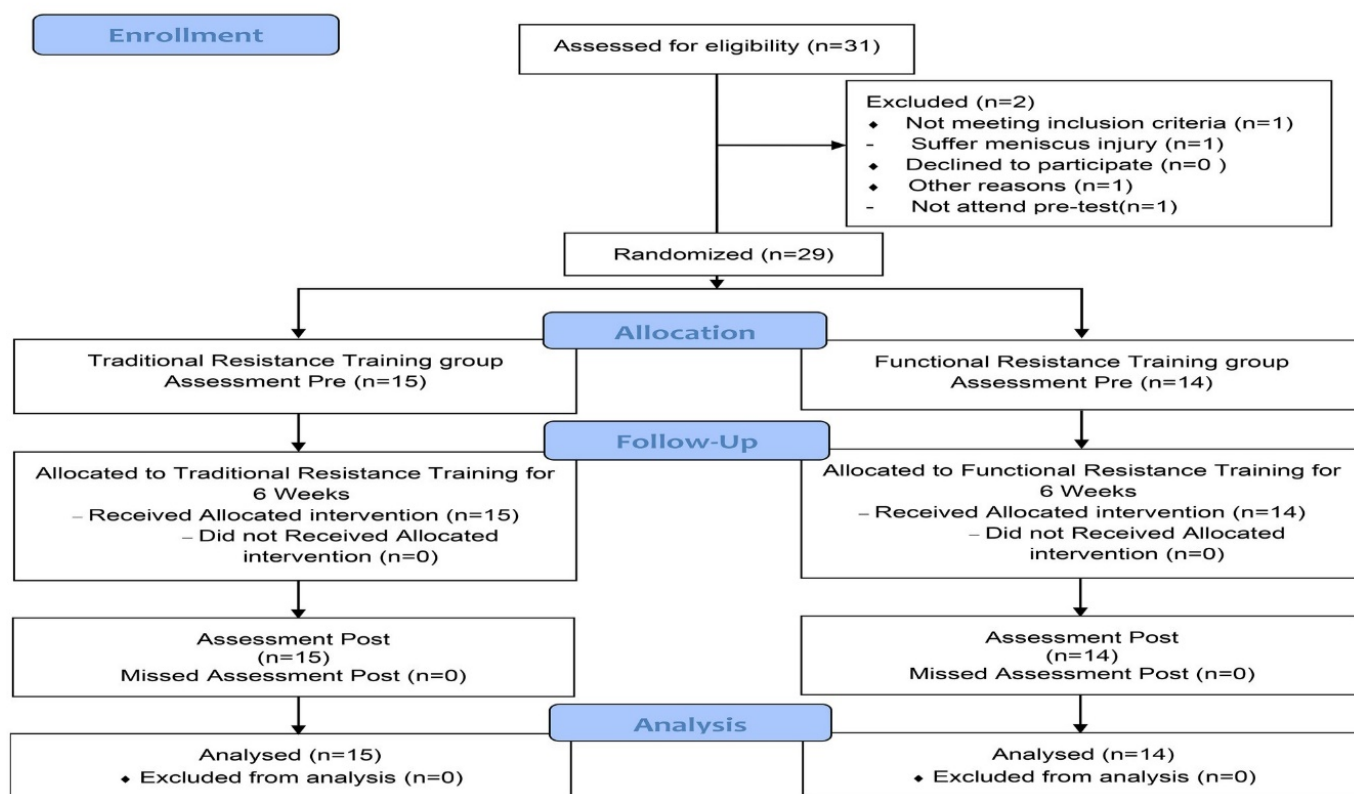


Figura 1. Diagrama de flujo de CONSORT a partir del programa de entrenamiento de los participantes a lo largo del estudio.

Tabla 2. Características del grupo al inicio del estudio presentadas como media \pm SD.

	TRT group (n = 15)	FRT group (n = 14)	Group difference p-value
Age(y)	22.1 \pm 2.9	20.9 \pm 2.7	0.261
Height(cm)	176.6 \pm 5.4	176.7 \pm 6.0	0.958
Body weight(kg)	77.9 \pm 11.6	73.4 \pm 10.2	0.268
Body mass index(kg/m ²)	24.9 \pm 3.1	23.4 \pm 2.6	0.168

TRT, traditional resistance training group; FRT, functional resistance training group.

Rigidez arterial

En cuanto a los resultados de la rigidez arterial, el entrenamiento disminuyó el índice vascular corazón-tobillo derecho (EFT, -0.51 y EFF, -0.53; efecto principal del tiempo $p = 0.03$) y el índice vascular corazón-tobillo izquierdo (EFT, -0.44 y EFF, -0.61)., efecto principal del tiempo $p = 0.04$); sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos, y los tamaños del efecto indicaron efectos pequeños a medianos a favor del grupo EFF (Cohen $d = 0.04$ y 0.28 para el índice vascular corazón-tobillo derecho y el índice vascular corazón-tobillo izquierdo, respectivamente). Como se describe en la Tabla 3, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las características hemodinámicas.

Tabla 3. Cambio en la rigidez arterial como diferencia de las medias, prueba estadística de diferencia de grupo y tamaños del efecto según la d de Cohen.

	TRT group (n = 15)			FRT group (n = 14)			Group p-value	Effect sizes
	Pre	Post	Mean differ	Pre	Post	Mean differ		
b SBP (mmHg)	126.8 \pm 11.9	123.7 \pm 12.0	-3.07	128.3 \pm 7.2	125.3 \pm 9.1	-3.00	0.577	0.15
b DBP (mmHg)	71.9 \pm 6.2	73.2 \pm 5.3	1.23	74.3 \pm 6.0	70.5 \pm 6.2	-3.79	0.832	0.46
Mean BP (mmHg)	90.2 \pm 7.6	90.0 \pm 6.3	-0.20	92.3 \pm 5.4	88.8 \pm 6.0	-3.52	0.811	0.20
PP (mmHg)	54.9 \pm 8.2	50.6 \pm 11.0	-4.30	54.0 \pm 7.5	54.8 \pm 8.8	0.79	0.518	0.42
Heart rate (bmp)	59.0 \pm 10.0	59.1 \pm 9.9	0.08	64.2 \pm 11.3	61.1 \pm 11.1	-3.07	0.261	0.25
R-CAVI	6.2 \pm 0.6	5.7 \pm 0.6*	-0.51	5.9 \pm 0.5	5.3 \pm 0.6*	-0.53	0.042	0.04
L-CAVI	6.2 \pm 0.6	5.7 \pm 0.6	-0.44	6.0 \pm 0.6	5.4 \pm 0.6*	-0.61	0.072	0.28

b, brachial; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; BP, blood pressure; PP, pulse pressure; R-CAVI, right cardio-ankle vascular index; L-CAVI, left cardio-ankle vascular index; TRT, traditional resistance training group; FRT, functional resistance training group; differ, difference; * $p < 0.05$, main effect of time.

Mediciones de la fuerza muscular

La Tabla 4 presenta los resultados de la fuerza de 1RM evaluada para los dos grupos de estudio antes y después del entrenamiento de la fuerza. Todos los tests de 1RM indicaron un efecto principal significativo del tiempo ($p < 0.01$), y ambos grupos exhibieron una mayor fuerza dinámica en todos los ejercicios analizados. Sin embargo, no se encontró que la fuerza muscular máxima difiriera entre los protocolos de entrenamiento, y los tamaños del efecto indicaron efectos pequeños a favor del EFF (Cohen $d = 0.20$, 0.02 y 0.04 para sentadilla en banco, press de banco y peso muerto, respectivamente).

Tabla 4. Cambio en las variables de la fuerza muscular y de la fuerza de aprensión como diferencia de medias, prueba estadística de diferencia de grupo y tamaños del efecto según *d* de Cohen.

	TRT group (n = 15)			FRT group (n = 14)			Group <i>p</i> -value	Effect sizes
	Pre	Post	Mean differ	Pre	Post	Mean differ		
b SBP (mmHg)	126.8 ± 11.9	123.7 ± 12.0	-3.07	128.3 ± 7.2	125.3 ± 9.1	-3.00	0.577	0.15
b DBP (mmHg)	71.9 ± 6.2	73.2 ± 5.3	1.23	74.3 ± 6.0	70.5 ± 6.2	-3.79	0.832	0.46
Mean BP (mmHg)	90.2 ± 7.6	90.0 ± 6.3	-0.20	92.3 ± 5.4	88.8 ± 6.0	-3.52	0.811	0.20
PP (mmHg)	54.9 ± 8.2	50.6 ± 11.0	-4.30	54.0 ± 7.5	54.8 ± 8.8	0.79	0.518	0.42
Heart rate (bmp)	59.0 ± 10.0	59.1 ± 9.9	0.08	64.2 ± 11.3	61.1 ± 11.1	-3.07	0.261	0.25
R-CAVI	6.2 ± 0.6	5.7 ± 0.6*	-0.51	5.9 ± 0.5	5.3 ± 0.6*	-0.53	0.042	0.04
L-CAVI	6.2 ± 0.6	5.7 ± 0.6	-0.44	6.0 ± 0.6	5.4 ± 0.6*	-0.61	0.072	0.28

b, brachial; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; BP, blood pressure; PP, pulse pressure; R-CAVI, right cardio-ankle vascular index; L-CAVI, left cardio-ankle vascular index; TRT, traditional resistance training group; FRT, functional resistance training group; differ, difference; **p* < 0.05, main effect of time.

El principal efecto del tiempo se detectó para la fuerza de aprensión media (*p* < 0.01), mientras que no se encontraron diferencias significativas en la aprensión media y aprensión media relativa entre los grupos, y un tamaño del efecto medio (Cohen *d* = 0.32 y 0.28 para aprensión media y aprensión media relativa, respectivamente, Tabla 4) se demostró a favor de EFF.

Medidas de composiciones corporales

Los datos descriptivos para las mediciones de la composición corporal se presentan en la Tabla 5. La grasa corporal disminuyó significativamente (*p* < 0.01) y la masa corporal magra aumentó significativamente (*p* < 0.05) en ambos grupos de entrenamiento después de 6 semanas, sin diferencia entre los modos de entrenamiento (efecto principal del tiempo, *p* < 0.05). Sin embargo, se detectó una interacción significativa entre el tiempo y el grupo para el peso corporal y el IMC (*p* < 0.05) cuando la diferencia dentro del grupo se analizó sólo por EFT y EFF (para peso corporal: EFT *p* < 0.05, EFF *p* = 0.757; para IMC: EFT *p* < 0.05, EFF *p* = 0.690); sin embargo, no se observaron diferencias entre los grupos (pre *p* = 0.270, post *p* = 0.423 para el peso corporal y pre *p* = 0.168, post *p* = 0.304 para el IMC).

Tabla 5. Las mediciones de la composición corporal cambian de antes a después de la prueba.

	TRT group (n = 15)			FRT group (n = 14)			Group <i>p</i> -value	Effect sizes
	Pre	Post	Mean differ	Pre	Post	Mean differ		
BS (kg)	116.0 ± 19.9	147.5 ± 15.1**	31.50	114.3 ± 16.0	148.9 ± 15.1**	34.64	0.979	0.20
BP (kg)	75.0 ± 9.8	89.3 ± 10.9**	14.33	71.4 ± 10.3	85.9 ± 10.4**	14.46	0.343	0.02
DL (kg)	118.7 ± 21.3	139.0 ± 16.7**	20.33	110.0 ± 25.4	129.8 ± 18.4**	19.82	0.234	0.04
R-LF (kg)	43 ± 6.5	50.7 ± 8.0**	7.67	39.3 ± 6.8	49.6 ± 8.9**	10.36	0.385	0.58
M Hg (kg)	41.8 ± 6.0	45.9 ± 5.2**	4.04	40.5 ± 8.4	45.8 ± 8.4**	4.94	0.728	0.32
M Hg (N/kg)	5.4 ± 1.0	5.9 ± 0.8**	0.59	5.4 ± 0.8	6.1 ± 0.8**	0.70	0.720	0.28

BS, barbell squat; BP, bench press; DL, dead lift; R-LF, right leg flexion; M Hg, mean handgrip; TRT, traditional resistance training group; FRT, functional resistance training group; differ, difference, ***p* < 0.01, main effect of time.

Discusión

El presente estudio fue diseñado para investigar los efectos de un volumen igual de programas de entrenamiento de la fuerza tradicional y funcional supervisados de 6 semanas sobre la fuerza máxima y la rigidez arterial en hombres jóvenes sanos. Hasta donde sabemos, ninguno de los estudios ha investigado la fuerza máxima y la rigidez arterial después de un patrón de fuerza funcional a corto plazo en hombres sanos. En este estudio, se encontró que ambos patrones de entrenamiento de la fuerza disminuyeron los índices vasculares del tobillo derecho e izquierdo después de 6 semanas de intervención en comparación con aquellos antes de la intervención; sin embargo, se encontró que las diferencias entre los grupos no fueron significativas. Este estudio también demostró que el EFF de 6 semanas es igualmente efectivo que el EFT para mejorar la fuerza muscular y lograr efectos positivos en la composición corporal. En un estudio, Ozaki y cols. (2013)

informaron que la rigidez de la arteria carótida disminuyó y la fuerza de 1RM aumentó luego de un entrenamiento de la fuerza de alta intensidad de 6 semanas en hombres jóvenes. Este hallazgo coincide con el de nuestro estudio. Por lo tanto, nuestros resultados indicaron que tanto los programas de entrenamiento de la fuerza tradicional como el funcional, pueden ser un patrón de ejercicio efectivo para mejorar la rigidez arterial sistemática y la fuerza muscular bajo un volumen de entrenamiento de fuerza equivalente.

El EFT es eficaz para mejorar el rendimiento funcional y prevenir la sarcopenia (Williams y cols., 2007). Sin embargo, los estudios realizados sobre diferentes tipos de entrenamiento de la fuerza en individuos han indicado resultados contradictorios con respecto a los cambios en la rigidez arterial inducidos por el EFT. Miyachi y cols. (2004) demostraron que 4 meses de entrenamiento regular de la fuerza de alta intensidad para todo el cuerpo (6 ejercicios, 3 series por sesión) disminuyó aproximadamente un 20% de la distensibilidad cardio-arterial en hombres jóvenes. Cortez-Cooper y cols. (2005) también informaron que la rigidez arterial y el reflejo de las ondas aumentaron después de un entrenamiento de la fuerza de alta intensidad de 11 semanas (12 ejercicios, hasta 6 series por sesión) en mujeres jóvenes. Por el contrario, Werner y cols. (2019) observaron que los índices de rigidez arterial no mostraron cambios después de 12 semanas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad y alto volumen (9 ejercicios, 2-3 series y 3-4 series, respectivamente) en hombres jóvenes. Los hallazgos de este estudio están de acuerdo con los resultados de Au y cols. (2017), quienes encontraron una disminución en la rigidez arterial central luego de 12 semanas de entrenamiento de la fuerza corporal total con diferentes cargas (más pesado, 75-90% 1RM; 5 ejercicios, 3 series vs. más ligero, 30-50% 1RM, 5 ejercicios 3 series) en la salud de hombres jóvenes. En el estudio actual, 6 semanas de entrenamiento de la fuerza funcional y tradicional para todo el cuerpo con diferentes cargas (70% 1RM, 5 ejercicios, 4-5 series vs 40% 1RM, 5 ejercicios, 4-5 series) el índice vascular del tobillo en un 7.4% y un 8.2 %, respectivamente, mientras que el índice vascular corazón-tobillo izquierdo disminuyó a un 6.2% y un 9.4% en el grupo EFT y el grupo EFF, respectivamente. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el cambio *delta* del índice vascular corazón-tobillo entre los grupos. Por lo tanto, desde la perspectiva de reducir la rigidez arterial sistémica, creemos que ambos protocolos de entrenamiento fueron igualmente efectivos para mejorar el índice vascular corazón-tobillo. Sin embargo, hasta donde sabemos, este estudio es el primero en medir el índice vascular corazón-tobillo después del entrenamiento de la fuerza a corto plazo en hombres jóvenes y en comparar los efectos del entrenamiento de la fuerza tradicional y funcional, ya que las diferencias en los volúmenes de entrenamiento en los estudios actuales y previos que pueden no explicar las adaptaciones de la rigidez arterial por el entrenamiento de la fuerza tradicional y funcional.

Los efectos del entrenamiento de la fuerza sobre el índice vascular corazón-tobillo en adultos se han demostrado en sólo dos estudios a largo plazo y un estudio agudo. Yasuda y cols. utilizó el entrenamiento de la fuerza de baja intensidad con flujo sanguíneo restringido y exhibió un aumento en la fuerza muscular máxima; sin embargo, el entrenamiento no pareció influir en la rigidez arterial (Yasuda y cols., 2014). Por el contrario, Li y cols., exhibieron que el índice vascular corazón-tobillo disminuyó en personas jóvenes durante al menos 60 minutos después del entrenamiento de la fuerza agudo (70% 1RM de miembros inferiores vs. cuerpo completo; 6 ejercicios, 4 series; Li y cols., 2015a). De manera similar, un estudio reciente informó una mejora en el índice vascular corazón-tobillo luego de un entrenamiento de la fuerza de 12 semanas (50-60% 1RM, 11 ejercicios, 1-3 series) (Gholami y cols., 2021). Estos hallazgos reflejan los efectos beneficiosos del entrenamiento de la fuerza sobre las propiedades elásticas de las arterias sistémicas. Además, estos hallazgos sugieren que el entrenamiento de la fuerza agudo o crónico puede ejercer efectos beneficiosos sobre la función vascular, y nuestros datos sugieren que el entrenamiento de la fuerza tradicional y funcional no ejerce ningún efecto adverso sobre la función arterial, de acuerdo con los hallazgos de otros estudios (Miyachi y cols., 2004; Cortez-Cooper y cols., 2005).

La respuesta mejorada del índice vascular corazón-tobillo después del entrenamiento de la fuerza crónica se puede atribuir a muchos factores. El mecanismo fisiológico de la reducción de la rigidez arterial después del entrenamiento de la fuerza aún no se comprende bien; sin embargo, la dilatación de las arterias musculares parece ser el principal mecanismo. La evidencia sugiere que la reducción de la rigidez arterial inducida por el ejercicio se acompaña de respuestas de distensión muscular arterial y aumento del flujo sanguíneo (Munir y cols., 2008). En un estudio anterior, el aumento en el uso de agentes vasodilatadores (por ej., nitroglicerina) puede haber causado cambios en la rigidez arterial comparables con el aumento de la intensidad del entrenamiento, pero ninguno de los participantes en este estudio tomó suplementos o medicamentos, lo que indica que el entrenamiento de la fuerza provocó similares adaptaciones de la rigidez arterial (Li y cols., 2015a). Además, el alto estrés de roce es responsable del aumento de la concentración de óxido nítrico durante el ejercicio extenuante y conduce a una mejora en la capacidad vasodilatadora y los parámetros hemodinámicos (Munir y cols., 2008). Munir y cols. (2008) informaron que el tono del músculo liso vascular disminuyó con la vasodilatación, por lo que la tensión de la pared arterial se transfirió de fibras de colágeno más duras a más fibras de elastina, lo que hizo que la pared arterial fuera más flexible. Aunque el presente estudio no observó cambios significativos en la masa corporal magra entre los dos grupos, el área de superficie de las arterias musculares podría ser mayor que antes en ambos grupos. Por lo tanto, se necesitarán investigaciones futuras para determinar el efecto de la diferencia inducida por el tipo de entrenamiento de la fuerza sobre el área superficial de las arterias musculares sobre la rigidez arterial.

Como se mencionó anteriormente, la diferencia más notable entre el programa de entrenamiento de la fuerza utilizado en

el presente estudio y otros estudios es el volumen de entrenamiento estrictamente controlado de los dos grupos durante el proceso de entrenamiento en el presente estudio. A pesar de las diferencias en la intensidad y condición del entrenamiento, el aumento de la fuerza muscular y la masa corporal magra no mostraron diferencias entre ambos grupos en nuestro estudio. Varios estudios han empleado menos ejercicios (Casey y cols., 2007; Okamoto y cols., 2013), más series (Cortez-Cooper y cols., 2005) o frecuencias de entrenamiento más bajas (Okamoto y cols., 2011), que no son favorables para la fuerza muscular ideal y las ganancias de masa corporal magra. Probablemente, las adaptaciones del músculo esquelético (fuerza y masa muscular) se determinaron en respuesta al entrenamiento de la fuerza de igual volumen con estrategias de entrenamiento divergentes. Kubo y cols. (2021) informaron que el aumento en el volumen muscular fue similar entre los tres protocolos de entrenamiento, a saber, 4RM, 8RM y 12RM, con el mismo volumen de entrenamiento. Del mismo modo, Colquhoun y cols. (Arazi y cols., 2021) encontraron que tres sesiones de entrenamiento de la fuerza por semana proporcionaron un aumento similar en la fuerza muscular y en la masa libre de grasa en comparación con seis sesiones por semana en condiciones de igual volumen. Por lo tanto, asumimos que el estado de adaptación muscular podría ser el mismo en respuesta a los protocolos EFT y EFF con el mismo volumen.

En el presente estudio se consideraron dos modalidades de entrenamiento de la fuerza, que diferían en cuanto a la condición de la superficie y la intensidad. Los parámetros de fuerza de 1RM de las extremidades superiores e inferiores y la masa muscular observados en nuestro estudio son consistentes con los indicados en estudios similares (Soligon y cols., 2020; Brown y cols., 2021; Hamid y cols., 2022). Kibele y Behm (Maté-Muñoz y cols., 2014) reportaron que las características tradicionales del entrenamiento de la fuerza eran realizar pesos de sobrecarga más altos que en el entrenamiento de la fuerza funcional, que también podría obtener respuestas de fuerza muscular similares con el uso de menor carga resistiva en condiciones inestables. La comparación de datos entre los dos grupos mostró que, a pesar de que las fuerzas se aplicaron sin sobrecarga a los músculos superiores e inferiores en el grupo EFF cuando se usaba un dispositivo de inestabilidad para el entrenamiento, las mejoras en la fuerza probablemente estaban relacionadas con el aumento en la activación de los músculos inferiores y del tronco (Anderson y Behm, 2005), transmisión simpática y reclutamiento de motoneuronas, lo que puede respaldar la coordinación y cooperación intramuscular e intermuscular (Asanuma y Pavlides, 1997) y hacer que la activación del músculo agonista sea más económica, mejorando así los rendimientos de fuerza.

Además, las mayores mejoras en la fuerza se observaron en las extremidades inferiores (por ej., sentadilla con barra, 29.8% y 31.6% de aumento para los grupos EFT y EFF, respectivamente) porque los patrones motores seleccionados en ambos grupos fueron principalmente de pie y de las extremidades inferiores, como sentadillas splits búlgaras. Peter (2013) informó que el centro de gravedad tiende a oscilar a medida que el cuerpo se mueve a lo largo de un eje vertical, lo que aumenta el grado de inestabilidad de las extremidades inferiores, lo que podría conducir a una activación de los músculos del tronco y de las extremidades inferiores (Anderson y Behm, 2005) y coordinación intra e intermuscular.

Con respecto a la composición corporal, nuestros resultados indicaron cambios significativos en el porcentaje de grasa corporal y la masa corporal magra en ambos grupos, pero la diferencia entre los grupos no fue significativa en términos de estos parámetros. Este resultado es consistente con el de un estudio anterior (de Resende-Neto y cols., 2019a). Varios estudios han demostrado la eficacia del entrenamiento de la fuerza sobre la estimulación neuromuscular y metabólica para respaldar cambios en la estructura del tejido, como reducción del tejido adiposo y aumento del tejido muscular (Hunter y cols., 2013; Marín-Cascales y cols., 2018). Otro resultado interesante del presente estudio es que el peso corporal y el IMC disminuyeron significativamente en el grupo EFT pero no en el grupo EFF, lo que no parece lógico. Estudios previos sobre la respuesta metabólica a al EFF encontraron un gasto calórico promedio de aproximadamente 10.1 kcal para un entrenamiento de la fuerza funcional de un minuto, que es más alto que el gasto de 5-9 kcal/min reportado en estudios que examinaron el ejercicio de la fuerza tradicional (Bloomer, 2005; Lagally y cols., 2009). Probablemente, la razón debería ser que el grupo de EFT en el presente estudio realizó un entrenamiento de alta intensidad (al menos 4-5 series de 12 repeticiones por entrenamiento) hasta el agotamiento y produjo un mayor consumo de energía.

Por lo tanto, asumimos que el gasto calórico del protocolo EFT es algo mayor que el del protocolo EFF (Tomljanović y cols., 2011).

El presente estudio tiene ciertas limitaciones. Medimos los índices vasculares corazón-tobillo derecho e izquierdo en los dos grupos; sin embargo, no se observó una disminución significativa en L-CAVI en el grupo EFT. Nuestra hipótesis es que la disminución de la rigidez arterial podría estar relacionada con el lado dominante de los participantes porque todos los participantes en este estudio tenían dominancia derecha, y las investigaciones futuras deberían explorar el efecto del lado dominante en la rigidez arterial. Además, los participantes del estudio se limitaron a hombres jóvenes sanos con función y pared arterial normales; por lo tanto, los resultados no podrían generalizarse a mujeres o personas con otras enfermedades crónicas, como diabetes, enfermedades cardíacas e hipertensión. Además, la duración de la intervención de 6 semanas puede no haber sido lo suficientemente larga como para causar cambios significativos en la fuerza muscular y en la rigidez arterial entre los dos grupos, y debido a la falta de un grupo de control, los resultados entre los dos grupos sólo exhibieron los efectos principales de tiempo sin el efecto de interacción tiempo \times grupo. Por lo tanto, se requieren estudios futuros

con un tamaño de muestra más grande y diferentes tipos de sujetos, edades y períodos de intervención para determinar el excelente patrón de entrenamiento de la fuerza beneficioso para la salud.

Conclusión

El estudio demostró que los efectos del EFT y del EFF de 6 semanas sobre la rigidez arterial y la fuerza muscular en hombres jóvenes sanos no difieren significativamente. Estos resultados podrían atribuirse a las respuestas de distensión arterial muscular. Aunque estudios previos han mostrado efectos desfavorables del entrenamiento de la fuerza sobre la rigidez arterial, nuestros resultados sugieren alternancias beneficiosas en la vasculatura con protocolos de entrenamiento de la fuerza tanto tradicionales como funcionales en hombres jóvenes. Estos resultados respaldan el papel beneficioso del entrenamiento de la fuerza sobre la mejora de la función de salud cardiovascular.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos sin procesar que respaldan las conclusiones de este artículo serán puestos a disposición por los autores, sin reservas indebidas.

Declaración de Ética

Los estudios que involucraron a participantes humanos fueron revisados y aprobados por la Universidad Capital de Educación Física y Deportes en el distrito de Haidian, Beijing, China después de la autorización ética institucional. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los pacientes para publicar este artículo. Los pacientes/participantes dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a todos los pacientes que estuvieron dispuestos a participar en el estudio.

REFERENCIAS

1. Alan, S., Ulgen, M. S., Ozturk, O., Alan, B., Ozdemir, L., and Toprak, N. (2003). Relation between coronary artery disease, risk factors and intima-media thickness of carotid artery, arterial distensibility, and stiffness index. *Angiology* 54, 261-267. doi: 10.1177/000331970305400301
2. American College of Sports Medicine (2018). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 10th Edn. eds. D. Riebe, J. K. Ehrman, G. Liguori, and M. Magal (Philadelphia: Wolters Kluwer).
3. Anderson, K., and Behm, D. G. (2005). Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can. J. Appl. Physiol.* 30, 33-45. doi: 10.1139/h05-103
4. Arazi, H., Asadi, A., Gentil, P., Ramírez-Campillo, R., Jahangiri, P., Ghorbani, A., et al. (2021). Effects of different resistance training frequencies on body composition and muscular performance adaptations in men. *PeerJ*. 9:e10537. doi: 10.7717/peerj.10537
5. Asanuma, H., and Pavlides, C. (1997). Neurobiological basis of motor learning in mammals. *Neuroreport* 8, R1-R6.
6. Asmar, R. (2017). Principles and usefulness of the cardio-ankle vascular index (CAVI): a new global arterial stiffness index. *Eur Heart J* 19(suppl. B), B4-B10. doi: 10.1093/eurheartj/suw058
7. Au, J. S., Oikawa, S. Y., Morton, R. W., Macdonald, M. J., and Phillips, S. M. (2017). Arterial stiffness is reduced regardless of resistance training load in young men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 49, 342-348. doi: 10.1249/MSS.0000000000001106
8. Bloomer, R. J. (2005). Energy cost of moderate-duration resistance and aerobic exercise. *J. Strength Cond. Res.* 19, 878-882. doi: 10.1519/R-16534.1
9. Brown, S. R., Washabaugh, E. P., Dutt-Mazumder, A., Wojtys, E. M., Palmieri-Smith, R. M., and Krishnan, C. (2021). Functional resistance training to improve knee strength and function after acute anterior cruciate ligament reconstruction: a case study. *Sports Health.* 13, 136-144. doi: 10.1177/1941738120955184
10. Casey, D. P., Beck, D. T., and Braith, R. W. (2007). Progressive resistance training without volume increases does not alter arterial stiffness and aortic wave reflection. *Exp. Biol. Med.* 232, 1228-1235. doi: 10.3181/0703-RM-65
11. Ceciliato, J., Costa, E. C., Azevêdo, L., Sousa, J. C., Fecchio, R. Y., and Brito, L. C. (2020). Effect of resistance training on arterial stiffness in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis. *Curr. Hypertens. Rep.* 22:51. doi: 10.1007/s11906-020-01065-x
12. Chami, H. A., Vasan, R. S., Larson, M. G., Benjamin, E. J., Mitchell, G. F., and Gottlieb, D. J. (2016). The association between sleep-disordered breathing and aortic stiffness in a community cohort. *Sleep Med.* 19, 69-74. doi: 10.1016/j.sleep.2015.11.009
13. Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychol. Bull.* 112, 155-159. doi: 10.1037/0033-2909.112.1.155
14. Cortez-Cooper, M. Y., Anton, M. M., DeVan, A. E., Neidre, D. B., Cook, J. N., and Tanaka, H. (2008). The effects of strength training on central arterial compliance in middle-aged and older adults. *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil.* 15, 149-155.

doi: 10.1097/HJR.0b013e3282f02fe2

15. Cortez-Cooper, M. Y., Devan, A., Anton, M., Farrar, R., Beckwith, K., Todd, J., et al. (2005). Effects of high intensity resistance training on arterial stiffness and wave reflection in women. *Am. J. Hypertens.* 18, 930-934. doi: 10.1016/j.amjhyper.2005.01.008
16. Cortez-Cooper, M. Y., Supak, J. A., and Tanaka, H. (2003). A new device for automatic measurements of arterial stiffness and ankle-brachial index. *Am. J. Cardiol.* 91, 1519-1522. doi: 10.1016/S0002-9149(03)00416-8
17. de Resende-Neto, A. G., Aragão-Santos, J. C., Oliveira-Andrade, B. C., Silva Vasconcelos, A. B., De Sá, C. A., Aidar, F. J., et al. (2019a). The efficacy of functional and traditional exercise on the body composition and determinants of physical fitness of older women: a randomized crossover trial. *J. Aging Res.* 2019, 1-9. doi: 10.1155/2019/5315376
18. de Resende-Neto, A. G., da Silva, R. M., Oliveira-Andrade, B. C., da Silva Chaves, L. M., Brandão, L. H. A., Nogueira, A. C., et al. (2021). Functional training in comparison to traditional training on physical fitness and quality of movement in older women. *Sport Sci. Health.* 17, 213-222. doi: 10.1007/s11332-020-00675-x
19. de Resende-Neto, A. G., Oliveira Andrade, B. C., Cyrino, E. S., Behm, D. G., De-Santana, J. M., and Da Silva-Grigoletto, M. E. (2019b). Effects of functional and traditional training in body composition and muscle strength components in older women: a randomized controlled trial. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 84:103902. doi: 10.1016/j.archger.2019.103902
20. Evans, W., Willey, Q., Hanson, E. D., and Stoner, L. (2018). Effects of resistance training on arterial stiffness in persons at risk for cardiovascular disease: a meta-analysis. *Sports Med.* 48, 2785-2795. doi: 10.1007/s40279-018-1001-6
21. Feito, Y., Heinrich, K., Butcher, S., and Poston, W. (2018). High-intensity functional training (HIFT): definition and research implications for improved fitness. *Sports.* 6:76. doi: 10.3390/sports6030076
22. Gholami, F., Khaki, R., Mirzaei, B., and Howatson, G. (2021). Resistance training improves nerve conduction and arterial stiffness in older adults with diabetic distal symmetrical polyneuropathy: a randomized controlled trial. *Exp. Gerontol.* 153:111481. doi: 10.1016/j.exger.2021.111481
23. Gonzalez-Sanchez, J., Garcia-Ortiz, L., Rodriguez-Sanchez, E., Maderuelo-Fernandez, J. A., Tamayo-Morales, O., Lugones-Sanchez, C., et al. (2020). The relationship between alcohol consumption with vascular structure and arterial stiffness in the spanish population: EVA study. *Alcohol. Clin. Exp. Res.* 44, 1816-1824. doi: 10.1111/acer.14411
24. Hamid, A., Majid, M., Abbas, A., João, P. N., and Haff, G. G. (2022). Comparison of traditional and accommodating resistance training with chains on muscular adaptations in young men. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 19, 258-264. doi: 10.23736/S0022-4707.21.12049-3
25. Hunter, G. R., Bickel, C. S., Fisher, G., Neumeier, W. H., and McCARTHY, J. P. (2013). Combined aerobic and strength training and energy expenditure in older women. *Med. Sci. Sport Exer.* 45, 1386-1393. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182860099
26. Johnson, C. P. (2001). Age related changes in the tunica media of the vertebral artery: implications for the assessment of vessels injured by trauma. *J. Clin. Pathol.* 54, 139-145. doi: 10.1136/jcp.54.2.139
27. Kibele, A., and Behm, D. G. (2009). Seven weeks of instability and traditional resistance training effects on strength, balance and functional performance. *J. Strength Cond. Res.* 23:1. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181bf0328
28. Koshiba, H., and Maeshima, E. (2019). Effects of exercise intervention on arterial stiffness in middle-aged and older females: evaluation by measuring brachial-ankle pulse wave velocity and cardio-ankle vascular index. *J. Phys. Ther. Sci.* 31, 88-92. doi: 10.1589/jpts.31.88
29. Kubo, K., Ikebukuro, T., and Yata, H. (2021). Effects of 4, 8, and 12 repetition maximum resistance training protocols on muscle volume and strength. *J. Strength Cond. Res.* 35, 879-885. doi: 10.1519/JSC.0000000000003575
30. La Scala Teixeira, C. V., Evangelista, A. L., Novaes, J. S., Da Silva Grigoletto, M. E., and Behm, D. G. (2017). "You're only as strong as your weakest link": a current opinion about the concepts and characteristics of functional training. *Front. Physiol.* 8:643. doi: 10.3389/fphys.2017.00643
31. Lagally, K. M., Cordero, J., Good, J., Brown, D. D., and McCaw, S. T. (2009). Physiologic and metabolic responses to a continuous functional resistance exercise workout. *J. Strength Cond. Res.* 23, 373-379. doi: 10.1519/JSC.0b013e31818eb1c9
32. Laurent, S., Boutouyrie, P., Asmar, R., Gautier, I., Laloux, B., Guize, L., et al. (2001). Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension* 37, 1236-1241. doi: 10.1161/01.HYP.37.5.1236
33. Li, Y., Bopp, M., Botta, F., Nussbaumer, M., Schäfer, J., Roth, R., et al. (2015a). Lower body vs. upper body resistance training and arterial stiffness in young men. *Int. J. Sports Med.* 36, 960-967. doi: 10.1055/s-0035-1549921
34. Li, Y., Hanssen, H., Cordes, M., Rossmeissl, A., Endes, S., and Schmidt-Trucksäss, A. (2015b). Aerobic, resistance and combined exercise training on arterial stiffness in normotensive and hypertensive adults: a review. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 15, 443-457. doi: 10.1080/17461391.2014.955129
35. Liao, D., Arnett, D. K., Tyroler, H. A., Riley, W. A., Chambless, L. E., Szklo, M., et al. (1999). Arterial stiffness and the development of hypertension: the ARIC study. *Hypertension* 34, 201-206. doi: 10.1161/01.HYP.34.2.201
36. Marín-Cascales, E., Alcaraz, P. E., Ramos-Campo, D. J., and Rubio-Arias, J. A. (2018). Effects of multicomponent training on lean and bone mass in postmenopausal and older women: a systematic review. *Menopause* 25, 346-356. doi: 10.1097/GME.0000000000000975
37. Maté-Muñoz, J. L., Monroy, A. J. A., Jodra Jiménez, P., and Garnacho-Castaño, M. V. (2014). Effects of instability versus traditional resistance training on strength, power and velocity in untrained men. *J. Sports Sci. Med.* 13, 460-468.
38. Miyachi, M., Donato, A. J., Yamamoto, K., Takahashi, K., Gates, P. E., Moreau, K. L., et al. (2003). Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Med. Sci. Sport Exer.* 35(Suppl. 1):S398. doi: 10.1097/00005768-200305001-02223
39. Miyachi, M., Kawano, H., Sugawara, J., Takahashi, K., Hayashi, K., Yamazaki, K., et al. (2004). Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation* 110, 2858-2863. doi: 10.1161/01.CIR.0000146380.08401.99
40. Miyatani, M., Yang, P., Thomas, S., Craven, B. C., and Oh, P. (2012). Bioelectrical impedance and dual-energy X-ray

absorptiometry assessments of changes in body composition following exercise in patients with type 2 diabetes mellitus. *J Obesity*. 2012, 1-9. doi: 10.1155/2012/953060

41. Munir, S., Jiang, B., Guilcher, A., Brett, S., Redwood, S., Marber, M., et al. (2008). Exercise reduces arterial pressure augmentation through vasodilation of muscular arteries in humans. *Am. J. Physiol. Heart C*. 294, H1645-H1650. doi: 10.1152/ajpheart.01171.2007
42. O'Donovan, C., Lithander, F. E., Raftery, T., Gormley, J., Mahmud, A., and Hussey, J. (2014). Inverse relationship between physical activity and arterial stiffness in adults with hypertension. *J. Phys. Act. Health* 11, 272-277. doi: 10.1123/jpah.2012-0075
43. Okamoto, T., Masuhara, M., and Ikuta, K. (2006). Effects of eccentric and concentric resistance training on arterial stiffness. *J. Hum. Hypertens*. 20, 348-354. doi: 10.1038/sj.jhh.1001979
44. Okamoto, T., Masuhara, M., and Ikuta, K. (2011). Effect of low-intensity resistance training on arterial function. *Eur. J. Appl. Physiol*. 111, 743-748. doi: 10.1007/s00421-010-1702-5
45. Okamoto, T., Masuhara, M., and Ikuta, K. (2013). Low-intensity resistance training after high-intensity resistance training can prevent the increase of central arterial stiffness. *Int. J. Sports Med*. 34, 385-390. doi: 10.1055/s-0032-1312604
46. Ozaki, H., Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki-Sunaga, M., Naito, H., and Abe, T. (2013). Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *Eur. J. Appl. Physiol*. 113, 167-174. doi: 10.1007/s00421-012-2422-9
47. Peter, M. (2013). Biomechanics of sport and exercise. *J. Sports Sci. Med*. 12:viii.
48. Pickering, T. G., Hall, J. E., Appel, L. J., Falkner, B. E., Graves, J., Hill, M. N., et al. (2005). Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the subcommittee of professional and public education of the american heart association council on high blood pressure research. *Circulation* 111, 697-716. doi: 10.1161/01.CIR.0000154900.76284.F6
49. Pollock, M. L., Franklin, B. A., Balady, G. J., Chaitman, B. L., Fleg, J. L., Fletcher, B., et al. (2000). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription an advisory from the committee on exercise, rehabilitation, and prevention, council on clinical cardiology, American Heart Association. *Circulation* 101, 828-833. doi: 10.1161/01.CIR.101.7.828
50. Rakobowchuk, M., McGowan, C. L., de Groot, P. C., Bruinsma, D., Hartman, J. W., Phillips, S. M., et al. (2005). Effect of whole body resistance training on arterial compliance in young men: resistance training and arterial compliance. *Exp. Physiol*. 90, 645-651. doi: 10.1113/expphysiol.2004.029504
51. Sardeli, A., Gáspari, A., and Chacon-Mikahil, M. (2018). Acute, short-, and long-term effects of different types of exercise in central arterial stiffness: a systematic review and meta-analysis. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 58, 923-932. doi: 10.23736/S0022-4707.17.07486-2
52. Schulz, K. F., Altman, D. G., and Consort, M. D. (2010). Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ* 340, c332-c332. doi: 10.1136/bmj.c332
53. Shirai, K., Hiruta, N., Song, M., Kurosu, T., Suzuki, J., Tomaru, T., et al. (2011). Cardio-ankle vascular index (CAVI) as a novel indicator of arterial stiffness: theory, evidence and perspectives. *J. Atheroscler. Thromb*. 18, 924-938. doi: 10.5551/jat.7716
54. Siasos, G., Athanasiou, D., Terzis, G., Stasinaki, A., Oikonomou, E., Tsitkanou, S., et al. (2016). Acute effects of different types of aerobic exercise on endothelial function and arterial stiffness. *Eur. J. Prev. Cardiol*. 23, 1565-1572. doi: 10.1177/2047487316647185
55. Soligon, S. D., da Silva, D. G., Bergamasco, J. G. A., Angleri, V., Júnior, R. A. M., Dias, N. F., et al. (2020). Suspension training vs. traditional resistance training: effects on muscle mass, strength and functional performance in older adults. *Eur. J. Appl. Physiol*. 120, 2223-2232. doi: 10.1007/s00421-020-04446-x
56. Sun, C.-K. (2013). Cardio-ankle vascular index (CAVI) as an indicator of arterial stiffness. *IBPC*. 6, 27-38. doi: 10.1016/S0002-9149(98)00578-5
57. Tanaka, H., Dineno, F. A., Hunt, B. E., Jones, P. P., DeSouza, C. A., and Seals, D. R. (1998). Hemodynamic sequelae of age-related increases in arterial stiffness in healthy women. *Am. J. Cardiol*. 82, 1152-1155. doi: 10.1016/S0002-9149(98)00578-5
58. Thitiwuthikiat, P., Jongjitwimol, J., and Nuamchit, T. (2017). Positive relationships between smoking and the arterial stiffness index in adults without underlying diseases. *SMJ*. 35:159. doi: 10.31584/smj.2017.35.2.698
59. Tomljanović, M., Spasić, M., Gabrilo, G., Uljević, O., and Foretić, N. (2011). Effects of five weeks of functional vs. traditional resistance training on anthropometric and motor performance variables. *Kinesiology* 43, 145-154. doi: 10.1186/1550-2783-8-22
60. Vasconcelos, A. B. S., de Resende-Neto, A. G., Nogueira, A. C., Aragão-Santos, J. C., Monteiro, M. R. P., Morais Junior, G. S., et al. (2020). Functional and traditional training improve muscle power and reduce proinflammatory cytokines in older women: a randomized controlled trial. *Exp. Gerontol*. 135:110920. doi: 10.1016/j.exger.2020.110920
61. Werner, T. J., Pellingier, T. K., Rosette, V. D., and Ortlip, A. T. (2019). Effects of a 12-week resistance training program on arterial stiffness: a randomized controlled trial. *J. Strength Cond. Res*. 35, 3281-3287. doi: 10.1519/JSC.0000000000003331
62. Williams, M. A., Haskell, W. L., Ades, P. A., Amsterdam, E. A., Bittner, V., Franklin, B. A., et al. (2007). Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on clinical cardiology and council on nutrition, physical activity, and metabolism. *Circulation* 116, 572-584. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214
63. Xiao, W., Soh, K. G., Wazir, M. R. W. N., Talib, O., Bai, X., Bu, T., et al. (2021). Effect of functional training on physical fitness among athletes: a systematic review. *Front. Physiol*. 12:738878. doi: 10.3389/fphys.2021.738878
64. Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Uchida, Y., Iida, H., Meguro, M., et al. (2014). Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults: blood flow restriction and older adults. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 24, 799-806. doi: 10.1111/sms.12087
65. Yoshizawa, M., Maeda, S., Miyaki, A., Misono, M., Saito, Y., Tanabe, K., et al. (2009). Effect of 12 weeks of moderate-intensity

resistance training on arterial stiffness: a randomised controlled trial in women aged 32-59 years. *Br. J. Sport Med.* 43, 615-618. doi: 10.1136/bjism.2008.052126

Cita Original

Zuo C, Li Q, Zhang L, Bo S. (2022) Effects of 6-Week Traditional and Functional Resistance Training on Arterial Stiffness and Muscular Strength in Healthy Young Men. *Front Physiol.* 2022, Mar 2; 13:859402. doi: 10.3389/fphys.2022.859402