

Efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza sobre la capacidad física funcional y activación muscular en un grupo de adultos mayores

Effects of two strength training programs on functional physical capacity and muscle activation in a group of older adults

*, **Alvaro Camilo Barón Barón, *Jairo Alejandro Fernandez Ortega, ***Diana Alexandra Camargo Rojas
*Universidad Pedagógica Nacional (Colombia); **Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova (Colombia),
***Universidad Nacional de Colombia (Colombia)

Resumen. El presente estudio tuvo como propósito identificar los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza (EF), en dos grupos de adultos de 60 a 75 años. Un grupo entrenó con una carga de 70% de 1RM (G70%, n = 10); y otro con una carga de 40% de 1RM (G40%, n = 9). El EF tuvo una duración de ocho semanas y una frecuencia de 3 sesiones por semana, con una hora de duración. Se evaluó la fuerza máxima (1RM), velocidad media propulsiva (VMP), la capacidad funcional y la activación neuromuscular antes y después del EF. Los resultados muestran un mejor desempeño post intervención en el G40%, en la capacidad funcional: agilidad (13,8% vs. 8,38%), marcha de 2 minutos (17,5% vs. 11,7%), sentadillas durante 30 segundos (44,6% vs. 33,9%), velocidad de la marcha (27,4% vs. 20,1%); en la fuerza máxima de 1RM (46,3% vs. 40,1%), la VMP con 40% de 1RM (38,9% vs. 37,3%), VMP con 70% de 1RM (43,2% vs. 36,4%) y VMP con 1RM (92% vs. 62,1%). Sin diferencias estadísticamente significativas en la activación neuromuscular para ambos grupos. El presente estudio sugiere que el entrenamiento de fuerza en una población de adultos mayores realizado a alta velocidad es más eficiente en variables como la capacidad física funcional, fuerza máxima, velocidad de ejecución y activación neuromuscular.

Palabras clave: adulto mayor, capacidad funcional, fuerza, condición física

Abstract. The purpose of this study was to identify the effects of two resistance strength training (RST) programs in two groups of adults aged 60 to 75 years. One group trained with a load of 70% of 1RM (G70%, n = 10); and another with a load of 40% of 1RM (G40%, n = 9). The RST lasted eight weeks and a frequency of 3 sessions per week, lasting one hour. Maximum strength (1RM), mean propulsive velocity (MPV), functional capacity, and neuromuscular activation were evaluated before and after RST. The results show a better post-intervention performance in G40%, in functional capacity: agility (13.8% vs. 8.38%), 2-minute march (17.5% vs. 11.7%), squats for 30 seconds (44.6% vs. 33.9%), gait speed (27.4% vs. 20.1%), maximum strength (1RM: 46.3% vs. 40.1%), MPV with 40% of 1RM (38.9% vs. 37.3%), MPV with 70% of 1RM (43.2% vs. 36.4%) and MPV with 1RM (92% vs. 62.1%). No statistically significant differences in neuromuscular activation for both groups. The present study suggests that strength training in a population of older adults performed at high speed is more efficient in variables such as functional capacity, maximum strength, speed of execution, and neuromuscular activation.

Key words: older adults, functional capacity, strength, physical condition

Fecha recepción: 18-05-23. Fecha de aceptación: 05-10-23

Alvaro Camilo Barón Barón
camilobaron1092@gmail.com

Introducción

La pérdida de masa muscular y fuerza asociada al envejecimiento, definido como dinapenia (Manini & Clark, 2012), trae como consecuencia una disminución de la independencia funcional, aumento del riesgo de fractura y de caídas e incluso discapacidad (Castro Jiménez et al., 2019; Huang et al., 2017; Lee et al., 2016; Pérez-López & Ara, 2016). Por ello, el interés frente a estrategias para mitigar esta problemática se ha extendido y el entrenamiento de fuerza posee cada vez mayor relevancia

Adicionalmente, factores neuromusculares como el reclutamiento, la tasa de descarga y sincronización de unidades motoras (UM) conllevan a alteraciones de la activación voluntaria de los músculos esqueléticos con el envejecimiento (Clark & Manini, 2008). Otros estudios han reportado una pérdida progresiva de unidades motoras (UM) y la atrofia de las fibras musculares, principalmente de tipo II (Clark & Fielding, 2012; Lamoureux et al., 2001), caracterizadas por su elevada velocidad de respuesta y que podrían evitar el riesgo de caídas.

Con respecto a la fuerza máxima, se ha reportado una reducción de entre 20% y 40% entre los 30 y 80 años

(Merletti et al., 2002); y una pérdida de velocidad contráctil voluntaria superior a la fuerza muscular, siendo las pérdidas más importantes entre los 70 y 90 años (Reid & Fielding, 2012). Particularmente, alteraciones sobre la expresión de la isoforma de la cadena pesada de miosina, conduce a una contracción menos potente de la musculatura (Power et al., 2013), además, se presentan cambios significativos en la ultraestructura mitocondrial y la localización subcelular del músculo esquelético, lo que conlleva a una reducción del 25-30% de la capacidad funcional entre los 30 y 70 años (Seo et al., 2016).

Dada la estrecha relación entre la fuerza, la capacidad funcional y la respuesta neuromuscular en los adultos mayores, Clark et al. (2011) reportaron un bajo desempeño en la batería SPPB (short physical performance battery) con respecto a la actividad de electromiografía durante acciones de máxima activación voluntaria en los músculos vasto lateral, vasto medial y recto femoral. Por su parte, Evans (2000) encontró que cuando la velocidad de marcha es menor a 0.6 m/s se presenta una mayor dependencia para realizar actividades de la vida diaria y mayor riesgo de hospitalización en los adultos mayores.

Los efectos positivos del EF sobre la masa muscular, la

fuerza, la potencia, la activación neuromuscular y metabólica en adultos mayores han sido reportados hace más de tres décadas. Frontera et al. (1988) reportaron un incremento significativo de la fuerza máxima e hipertrofia, sin una variación en la proporción de fibras musculares de tipo I (33.5%) o II (27.6%), en adultos hombres de 60 a 72 años después de un programa de EF, con una carga de 80% de 1RM realizando las repeticiones con baja velocidad.

Posteriormente, Fiatarone et al. (1990) reportaron incrementos en la sección transversal del músculo (10.9%), movilidad funcional y ganancias de > 170% de la RM mediante un entrenamiento de extensores del cuádriceps al 80% 1RM durante ocho semanas. A partir de estos estudios se ha generado múltiples investigaciones que han demostrado los efectos positivos desde diversas perspectivas que tiene el EF en los adultos mayores, tales como aumento de la fuerza máxima, del consumo máximo de oxígeno, la función neuromuscular y modificaciones en las concentraciones séricas de lípidos (Hagerman et al., 2000; Ivey et al., 2000; Peterson et al., 2010; Power et al., 2016; Radaelli et al., 2013).

Sin embargo, no hay un consenso sobre el tipo de entrenamiento de fuerza más efectivo sobre la capacidad funcional y la respuesta neuromuscular en adultos mayores. Vincent et al. (2002) reportaron un mejor desempeño en la prueba de subir escaleras al final de un entrenamiento de fuerza con cargas de 50% de 1RM vs otro con 80% de 1RM, por su parte, Jenkins et al. (2017) reportaron un aumento de la actividad neural en un grupo de entrenamiento con 80% de 1RM, frente a uno con el 30% de 1RM, a pesar de generarse niveles de hipertrofia similares en ambos grupos.

Fernández & Hoyos (2020) compararon dos tipos de EF realizado con 86 mujeres de entre 60 – 81 años, un grupo entrenó al 40% 1RM, con alta velocidad de ejecución, el otro grupo al 70% de 1RM. Evaluaron la fuerza máxima de miembros superiores e inferiores (1RM), la fuerza prensil, la velocidad de la marcha, la potencia máxima, la VMP el rendimiento funcional (senior fitness test), observando mejoras significativas ($p < 0.05$) en todas las pruebas, en los dos grupos después de 12 semanas de entrenamiento. Sin embargo, los resultados del grupo que entrenó a mayor velocidad fueron significativamente ($p < 0.05$) superiores, en las pruebas de capacidad funcional, VMP y potencia máxima. Sin diferencias significativas en la fuerza máxima y fuerza prensil.

Otros estudios han mostrado mejoras significativas acerca del EF prescrito a partir de la velocidad de ejecución, que tiene como resultado un mejor desempeño sobre las fibras musculares de tipo II, la capacidad funcional y disminución de riesgo de caídas o pérdida de la independencia (Earles et al., 2001; Schlicht et al., 2001). Hakkinen et al. (2001) reportaron un aumento de la fuerza y potencia máxima de los músculos extensores de la rodilla, así como una mayor activación neuromuscular de los músculos antagonistas evaluado a partir de electromiografía de superficie, después de 6 meses de entrenamiento con ejecución a máxima velocidad en la fase concéntrica y una carga progresiva de

50% hasta 80% de 1RM.

Edholm et al. (2017) publicaron un incremento en las pruebas de sentarse y levantarse 5 veces, así como en la prueba de postura a una sola pierna, en un grupo de mujeres de 65 a 70 años, después de un entrenamiento con carga de 50% hasta 85% de 1RM, acompañado de una dieta saludable. Caserotti et al. (2008) encontraron un aumento en el salto contra movimiento, la tasa de desarrollo de la fuerza y contracción voluntaria máxima en un grupo de adultos de 60 a 65 y otro de 80 a 90 años, con cargas de 75% a 80% de 1RM aplicada sobre los miembros inferiores.

Con respecto al uso de cargas menos elevadas, ejecutadas a una alta velocidad, Pereira et al. (2012) mostraron diferencias significativas en un grupo de mujeres que entrenó con una carga de 40% de 1RM, sobre el rendimiento muscular en fuerza dinámica y concéntrica, potencia muscular y test que evalúan la capacidad funcional.

Varios estudios han mostrado cambios en las variables EMG luego de un programa de EF, incluso en atletas altamente entrenados en fuerza, lo que indica el alto nivel de plasticidad del sistema neural (Hoppeler, 2016). La mayoría de los estudios han analizado los cambios en la EMG del músculo durante las contracciones isométricas o frente a una carga de 1RM, mostrando cambios significativos en la amplitud de la EMG (RMS, EMG integrada, voltaje promedio medio) o la frecuencia de potencia media y mediana después de diferentes programas de EF (Aagaard et al., 2002; Buckthorpe et al., 2015; Sampson & Groeller, 2016; Ullrich et al., 2015).

La pérdida de fuerza y de UM parece ser más evidente en los sujetos que no realizan EF, posiblemente debido no solo al mantenimiento del número de UM sino también a UM electrofisiológicamente más estables. Parece que la calidad electrofisiológica de UM es menor en los grupos que no realizan actividad, particularmente, el estudio realizado por Power et al. (2016) muestra como los AM campeones del mundo en su novena década de vida tenían una mayor cantidad de UM sobrevivientes, una re-inervación colateral reducida, una mejor preservación de la estabilidad de la transmisión neuromuscular y, por lo tanto, una mejor preservación de la masa muscular excitable en comparación con los controles de la misma edad. Por ello el EF en la población de adultos mayores surge como una estrategia para atenuar la pérdida y deterioro de las UM manteniendo potencialmente la función y atenuando los efectos nocivos de la sarcopenia.

Hasta ahora no parece del todo clara la propuesta metodológica más eficiente para los programas de intervención en adultos mayores, que permita mitigar de forma más efectiva la reducción del riesgo asociada al envejecimiento y la capacidad funcional y respuesta neuromuscular. Por lo anterior, el presente trabajo pretende identificar los efectos de un programa de entrenamiento con carga del 40% de 1RM con velocidad de ejecución elevada y uno con carga del 70% de 1RM a velocidad de ejecución moderada, sobre la fuerza máxima dinámica, la velocidad media propulsiva, respuesta neuromuscular, capacidad funcional en un grupo de adultos de entre 60 y 75 años.

Materiales y métodos

Se trata de un ensayo de intervención de ejercicio simple, ciego, aleatorizado, de 8 semanas que comparó los efectos de dos tipos de EF sobre 5 variables de interés que se describen a continuación. En el presente estudio se realizó una convocatoria pública a participar en un programa de entrenamiento ofertado por la Universidad Pedagógica Nacional, sede Bogotá (Colombia), para personas mayores de entre 60 y 75 años, aplicando un muestreo por conveniencia del cual se obtiene una muestra no probabilística de 19 personas, tamaño de la muestra adecuada para estudios cuasiexperimentales, que accedieron a participar voluntariamente en el estudio en al menos 90% de asistencia.

Los participantes cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: cuestionario de aptitud para la actividad física PAR-Q & YOU, no estar bajo tratamiento por enfermedades cardiacas u osteomusculares y no haber participado de un programa de entrenamiento de fuerza en el último año. Se excluyeron participantes con enfermedades crónicas no controladas u osteomusculares; que tomaban medicamentos hipertensivos, diuréticos, antiinflamatorios, hipolipemiantes u hormonales; eran fumadores o bebedores habituales y puntuación igual o inferior a 24 puntos en la escala de marcha y equilibrio de Tinetti (Lugo, 2012).

El estudio fue diseñado siguiendo las normas deontológicas reconocidas por la declaración de Helsinki y la resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. Los participantes fueron informados de los riesgos, beneficios y objetivos del estudio y firmaron el consentimiento informado. El presente estudio fue aprobado por el comité de ética de la facultad de medicina, de la Universidad Nacional de Colombia, con acta No. 015-177.

Procedimientos

Se realizaron evaluaciones antes y después del EF en cinco tipos de variables de interés: fuerza máxima dinámica, velocidad media propulsiva, respuesta neuromuscular y capacidad física funcional. Días previos a las valoraciones los participantes fueron cuidadosamente familiarizados con el procedimiento de cada una de las pruebas de fuerza y potencia. Las pruebas se realizaron antes de la aleatorización de los grupos para verificar su homogeneidad.

Las valoraciones se realizaron en tres sesiones: (1) 1RM de miembros inferiores y actividad neuromuscular, (2) composición corporal y la condición física funcional, (3) potencia pico, VMP y actividad neuromuscular (72 horas después). Antes de cada prueba los participantes realizaron un calentamiento general de 10 minutos a baja velocidad en banda rodante o en bicicleta estática, y 10 minutos de ejercicios específicos. Las pruebas se realizaron siempre a la misma hora (9:00 a.m.) por los efectos que pueden tener los ritmos circadianos en el rendimiento neuromuscular.

Evaluación de la condición física y funcional

Se realizaron las pruebas de condición física funcional

propuestas por la batería senior fitness test (SFT). Se incluyeron las pruebas de sentarse y levantarse de una silla durante 30 segundos (s), prueba de agilidad: levantarse, caminar y volverse a sentar y prueba de marcha de 2 minutos (Rikli & Jones, 2013). Adicionalmente se realizó la prueba de velocidad de la marcha, del SPPB (short physical performance battery). Para el registro se utilizó el sistema de fotoceldas de luz infrarroja modelo WL34-R240. (Sick® Alemania). Cada participante realizó 2 ensayos, separados por un intervalo de tres minutos y se tomó el mejor registro (Lowry et al., 2012).

Fuerza máxima dinámica

La fuerza máxima se evaluó a partir del método de 1RM de acuerdo con los protocolos establecidos para esta población (Henwood & Taaffe, 2005; Marsh et al., 2015; Rattamess et al., 2009; Robert & Frederick, 2000). La prueba realizada fue media sentadilla en una máquina Smith, conformada por un rack que soporta una barra horizontal de 13.5 kilogramos, fijada a un sistema de rieles verticales y un sistema de poleas que se enlazan con la barra horizontal.

Los sujetos realizaron cuatro repeticiones a máxima velocidad, con una carga del 40% de 1RM estimada. Después, se aumentó progresivamente la carga en 5kg hasta que la VMP alcanzada fue inferior a 0.30m/s. Posteriormente, se ajustó la carga con incrementos de 1-2 kg, hasta que el evaluado realizara una repetición con el criterio técnico adecuado. Hubo 3 minutos de recuperación entre cada uno de los incrementos (Sanchez-Medina et al., 2010). Se utilizó un transductor de velocidad lineal encoder T-FORCE Dynamic Measurement System2, Ergotech Consulting S.L.; Murcia, España, con muestreo de 1000 Hz y precisión de .0002m).

Activación neuromuscular

Se registró a partir de electromiografía de superficie de los músculos vasto lateral (VL) y vasto medial (VM) de la pierna dominante, antes, durante y después del programa de entrenamiento, siguiendo el protocolo de SENIAM (Hermens et al., 2000). Adicionalmente se realizó registro fotográfico del muslo para mapear las posiciones de los electrodos a lo largo del estudio.

Se utilizó un electromiógrafo eMotion EMG (Mega Electronics Finlandia), a una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz. Las señales sin procesar se grabaron y se rectificaron y filtraron en onda completa (filtro de paso bajo Butterworth de segundo orden con corte a 6 Hz: envolvente lineal). Luego se determinaron la amplitud EMG máxima (mV) y la amplitud EMG promedio (mV) de la envolvente lineal (DATAPAC 2000; RUN Technologies, Laguna Hills, California, EE. UU.). Para la comparación entre pre y post test, los valores EMG registrados se normalizaron con la carga absoluta máxima levantada (Eriksen et al., 2016) (Chowdhury et al., 2013). Se realizaron análisis de raíz media cuadrada (RMS); e integral bajo la curva.

Protocolo de intervención

Los participantes fueron distribuidos de manera

aleatoria a un grupo de entrenamiento con carga de 40% de 1RM (G40%, n = 9) realizando la fase concéntrica del movimiento tan rápido como fuera posible, conservando una pérdida de velocidad de ejecución inferior al 20%, el otro grupo con carga del 70% de 1RM (G70%, n = 10), realizando la fase concéntrica de manera controlada. En ambos grupos se incrementó la carga en un 10% en la cuarta semana de entrenamiento.

El programa de EF tuvo una duración de ocho semanas, con una frecuencia de tres sesiones por semana, realizando media sentadilla en cuatro series de 12 repeticiones, con recuperación de tres minutos entre serie y 48 horas entre cada sesión. Cada sesión de entrenamiento se inició con una activación de marcha continua a intensidad moderada durante cinco minutos, enseguida movilidad articular general y estiramientos dinámicos, luego realizaron dos series de 10 repeticiones de media sentadilla sin carga. El programa fue diseñado de acuerdo con las recomendaciones del American College of Sports Medicine (ACSM) (Riebe et al., 2018).

Resultados

Se realizaron pruebas de normalidad previo al EF mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y la varianza entre grupos (G40% vs G70%) utilizando la prueba de Levene. Los valores se presentan como media y \pm DS. La fiabilidad absoluta test - retest se evaluó mediante el CV, mientras que la confiabilidad relativa fue calculada por el ICC con Intervalo de confianza (IC) del 95%, utilizando el modelo de efectos aleatorios unidireccionales. Se estableció la significancia estadística como $p \leq 0.05$. Se realizaron pruebas t de muestras pareadas para examinar la diferencia intragrupo antes y después del entrenamiento. Adicionalmente, se

calcularon los tamaños del efecto (ES) según la escala de Cohen, con 0.2 a 0.49 para tamaño del efecto pequeño, 0.5 a 0.79 moderado y 0.8 o mayor para tamaño del efecto grande. Los análisis estadísticos fueron realizados en el software IBMSPSS versión 26 (Chicago, IL, EE. UU.)

Línea de base

En la tabla 1 se presentan las características de los grupos, donde se evidencia la homogeneidad previa al protocolo de intervención. Adicionalmente, se realizó escala de marcha y equilibrio de Tinetti validada para población colombiana, con versión en español, donde se encontró un nivel elevado de independencia funcional de la muestra.

Tabla 1.
Características de la población

	G70% (n=10)	G40% (n=9)
Edad (años)	66.5 \pm 4	66.8 \pm 4.55
Peso (kg)	60.5 \pm 6.80	61.4 \pm 10.85
Talla (m)	1.55 \pm 0.08	1.56 \pm 0.07
IMC (kg/m ²)	25.3 \pm 3.58	25.3 \pm 3.46
Escala de Tinetti	27.8 \pm 0.9	27.8 \pm 0.4

Kg: kilogramos, m: metros, IMC: Índice de masa corporal

Condición física y capacidad funcional

Ambos grupos presentaron incrementos significativos en las pruebas de condición física y capacidad funcional posterior a las ocho semanas de entrenamiento, excepto en la agilidad y la marcha de dos minutos para el G70%, donde a pesar de presentarse cambios, estos no fueron significativos. (Ver Tabla 2). Por otra parte, el tamaño del efecto fue heterogéneo entre las variables y en cada grupo. A pesar de observarse mejores resultados en todas las variables en el G40% en comparación con el G70%, no se observaron diferencias significativas entre los dos tipos de entrenamiento.

Tabla 2.
Variables de condición física y funcional

Variable	Grupo	Pre	Post	%	p	CS
Test de agilidad (s)	G70%	5,97 \pm 1,18	5,47 \pm 0,81	8,38	0,08	0,49
	G40%	6,32 \pm 0,70	5,45 \pm 0,61	13,77	***	1,32
Marcha de 2 min	G70%	87,70 \pm 22,19	98,00 \pm 15,41	11,74	0,07	0,53
	G40%	78,78 \pm 15,82	92,56 \pm 15	17,49	*	0,89
Sentarse y levantarse durante 30 s	G70%	12,70 \pm 2,63	17,00 \pm 2,94	33,86	***	1,54
	G40%	13,22 \pm 2,6	19,11 \pm 3	44,55	***	2,09
Vel marcha 6 m (m/s)	G70%	1,46 \pm 0,25	1,86 \pm 0,42	20,13	***	1,15
	G40%	1,49 \pm 0,16	1,79 \pm 0,25	27,43	***	1,42
1RM (Kg)	G70%	52,40 \pm 16,16	73,40 \pm 22,09	40,08	***	1,08
	G40%	43,83 \pm 8,8	64,11 \pm 12	46,27	***	1,92
VMP (m*s ⁻¹) 40% 1RM	G70%	0,59 \pm 0,10	0,81 \pm 0,18	37,29	***	1,59
	G40%	0,54 \pm 0,09	0,75 \pm 0	38,89	***	3,29
VMP (m*s ⁻¹) 70% 1RM	G70%	0,44 \pm 0,05	0,63 \pm 0,19	36,36	***	1,3
	G40%	0,44 \pm 0,05	0,60 \pm 0	43,18	***	4,52
VMP (m*s ⁻¹) 1RM	G70%	0,29 \pm 0,07	0,47 \pm 0,87	62,07	***	0,29
	G40%	0,25 \pm 0,7	0,48 \pm 1	92,00	***	0,26

%= porcentaje de cambio. CS= tamaño del efecto.

*= p<0.05; **= p<0.01; ***= p<0.001

Activación neuromuscular

Con respecto a la evaluación de la activación neuromuscular a partir de electromiografía de superficie (Ver Tabla 3), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el pre y el post entrenamiento en la integral normalizada de los músculos vasto medial (VM) y vasto lateral (VL) en los dos grupos de estudio.

Tabla 3.

Significancia bilateral por grupo de integral normalizada para EMG

% de RM	G70%					G40%				
	Pre		Post		p	Pre		Post		p
	Media	DE	Media	DE		Media	DE	Media	DE	
40% VM	149,9	35,2	139,9	89,2	0,2	121,3	77	105	68,6	0,4
40% VL	164,6	99	138,7	91	0,2	152,3	58	107,5	45,9	0,1
70% VM	190,8	153,2	143,4	87,1	0,9	143,4	101,8	116	75,1	0,6
70% VL	268,7	163,3	195,5	95,2	0,1	170,4	68,2	129,4	60,4	0,1
100% VM	172,9	116,3	154,1	99,9	0,7	110,6	62	101,3	52,6	0,8
100% VL	263,1	167,9	222,6	118,6	0,4	156,2	87,5	121,9	52,5	0,2

*: p<0.05 **: p<0.01

DE Desviación estándar. VM Vasto medial. VL Vasto lateral

Discusión

Los hallazgos del presente estudio confirman los efectos positivos del EF sobre la capacidad física y condición funcional en los adultos mayores, independiente del tipo de entrenamiento. Particularmente, el grupo que entrenó a alta velocidad presentó mejoras significativas en las cuatro pruebas de capacidad funcional, fuerza máxima y velocidad, lo que concuerda con los resultados de estudios previos (Bottaro et al., 2007; Pereira et al., 2012; Sayers & Gibson, 2014; Schaun et al., 2022), donde los autores identificaron que el EF realizado a alta velocidad es más eficiente para mejorar la capacidad funcional y explica mejor la varianza en las pruebas de capacidad funcional, fuerza y potencia que el entrenamiento realizado a baja velocidad con carga elevada.

En los resultados del presente estudio, el G70% no presentó mejoras estadísticamente significativas en las pruebas de agilidad y marcha de 2 minutos posteriores al entrenamiento, estos resultados concuerdan con los de Schlicht et al. (2001), quienes observaron un incremento significativo en la velocidad de la marcha después de un programa de EF con una carga de 75% de 1RM, sin incrementos significativos en la prueba de sentarse y levantarse.

De acuerdo con los resultados obtenidos, donde no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, se ha sugerido considerar factores como las características particulares de la población y su desempeño en la línea de base, con el objetivo de programar el entrenamiento de manera más específica Noronha et al. (2022)

Vieira et al. (2022).

En cuanto a la fuerza máxima, el G40% reportó un incremento 6% superior que en el G70%, estos resultados son similares a los estudios de Bottaro et al. (2007) y Pereira et al. (2012), quienes reportaron un mejor desempeño en la fuerza máxima a partir de protocolos de EF realizados a alta velocidad en adultos mayores. De acuerdo con Bottaro et al. (2007), estas mejores respuestas del EF realizado a alta velocidad podrían provenir de adaptaciones neuromusculares, como una disminución de la actividad de los músculos antagonistas, una mejor coactivación de los músculos sinérgicos y/o un aumento de la excitabilidad de las motoneuronas.

Por su parte, Henwood & Taaffe (2005) hallaron resultados estadísticamente significativos en variables de fuerza máxima, potencia y capacidad funcional, en un grupo de adultos de 60-80 años que realizaron los ejercicios de

manera explosiva, los autores sugieren que estas adaptaciones podrían atribuirse al estímulo a nivel neuromuscular, aumentando la tasa de descarga sobre las UIM.

La evidencia científica consolidada hasta el momento sugiere que el EF realizado a alta velocidad, genera una mayor activación neural que el EF con cargas altas y baja velocidad. Los estudios de Reid & Fielding (2012) y Byrne et al. (2016) apoyan esta hipótesis, que podría atribuirse a una combinación de patrones mejorados de reclutamiento de unidades motoras y a un incremento en las tasas de descarga, como la frecuencia de desconexión y mayor sincronización y activación de las UIM.

En el presente estudio a pesar de observarse mejores resultados en todas las variables en el G40% en comparación con el G70% las diferencias no fueron significativas. Estos resultados son contradictorios con estudios realizados por este mismo equipo (Fernández & Hoyos, 2020) y por estudios previos, que han encontrado mejoras similares en la fuerza máxima en ambos tipos de EF, e incrementos significativos en la potencia muscular de los miembros inferiores cuando el entrenamiento se realizó a una alta velocidad (Earles et al., 2001; Fielding et al., 2002)

Los resultados en los estudios de electromiografía son contradictorios, se han observado disminuciones o incrementos en los valores de EMG posterior a un período de entrenamiento en fuerza. Algunos investigadores indican que los aumentos de fuerza van acompañados de aumentos en la EMG media durante las contracciones estáticas y concéntricas, otro tanto no ha encontrado tal asociación. Un aspecto interesante de este estudio es que, aunque ambos grupos de entrenamiento mostraron mejoras significativas en las pruebas de capacidad física funcional, fuerza máxima, VMP, los cambios en las variables EMG no fueron estadísticamente significativos. Estudios previos como los de Buckthorpe et al. (2015) Sampson & Groeller (2016), Aagaard et al. (2002) Ullrich et al. (2015) y Power et al. (2016) presentaron resultados similares.

El curso temporal de las disminuciones en los valores de EMG tuvo una correlación de $r=0.35$ con los cambios en la producción de fuerza. La disminución de la amplitud promedio de EMG en el G70% fue del 15% y el incremento en 1RM fue del 40%. En el G40% la disminución de la amplitud fue del 19% y el incremento de la 1RM fue del 46%. Es decir que los valores EMG no siempre cambian directamente de acuerdo con los cambios en la producción o fuerza, lo cual entra en contradicción con el supuesto que las ganancias iniciales de fuerza se deben en gran medida a

factores no hipertroficados, como una mayor activación de la UM, reflejada por una mayor actividad EMG después del entrenamiento (Rodríguez-Rosell et al., 2018).

De acuerdo con lo reportado en estudios donde emplearon la medición de la actividad electromiografía integrada (iEMG) parte del rendimiento mejorado de la potencia muscular podría provenir de adaptaciones neuromusculares, tales como, mayor inhibición de los músculos antagonistas, mejor contracción sinérgica del músculo, aumento en la activación de los músculos sinérgicos, inhibición de los mecanismos de protección neuronal y/o una mayor excitabilidad de las motoneuronas (Hakkinen et al., 2001).

Se ha reportado una mayor amplitud de la EMG y producción de impulsos cuando se realizan movimientos balísticos (Maffiuletti et al., 2016; Mc Dermott et al., 2022), esto no fue observado en la presente investigación dado que la mayor amplitud del EMG se presentó en el G70%, que entrenó a baja velocidad. Sin embargo, los protocolos empleados en la evaluación de la respuesta neuromuscular no se presentaron de manera similar con los estudios citados, por lo que con perspectiva a estudios futuros un protocolo de evaluación a partir de la máxima contracción isométrica voluntaria y uso de herramientas de evaluación como máquinas isoinerciales podrían aportar en la comprensión del comportamiento en la sEMG.

El presente estudio presenta el entrenamiento de fuerza con carga moderada realizado a una alta velocidad de ejecución como una estrategia efectiva en los incrementos de la fuerza máxima y la velocidad media propulsiva, además, genera un mayor desempeño en la capacidad funcional en una población de adultos mayores.

Se presentaron algunas limitaciones, la duración del programa de entrenamiento podría explicar que no se hayan presentado diferencias entre los grupos, adicionalmente, un tamaño de muestra más grande permitiría generalizar los resultados y reducir la probabilidad de un error tipo II. Aunque de acuerdo con las nuevas posturas utilizadas para valorar el efecto de una intervención, las diferencias entre los dos tipos de entrenamiento fueron clínicamente significativas.

Referencias

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., Dyhre-Poulsen, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol*, *93*, 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002.-The>
- Bottaro, M., Machado, S. N., Nogueira, W., Scales, R., & Veloso, J. (2007). Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional performance in older men. *European Journal of Applied Physiology*, *99*(3), 257–264. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0343-1>
- Buckthorpe, M., Erskine, R. M., Fletcher, G., & Folland, J. P. (2015). Task-specific neural adaptations to isoinertial resistance training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *25*(5), 640–649. <https://doi.org/10.1111/sms.12292>
- Byrne, C., Faure, C., Keene, D. J., & Lamb, S. E. (2016). Ageing, Muscle Power and Physical Function: A Systematic Review and Implications for Pragmatic Training Interventions. In *Sports Medicine* (Vol. 46, Issue 9, pp. 1311–1332). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0489-x>
- Caserotti, P., Aagaard, P., Larsen, J. B., & Puggaard, L. (2008). Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *18*, 773–782. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00732.x>
- Castro Jiménez, L. E., Galvez Pardo, A. Y., Quintero Guzmán, A. G., & Muñoz Garcia, I. A. (2019). Explosive strength in older adults, training effects on maximum strength. *Retos*, *36*, 64. <https://doi.org/https://doi.org/10.47197/retos.v36i36.66715>
- Chowdhury, R. H., Reaz, M. B. I., Alauddin, M., Mohd, B., Bakar, A. A. A., Chellappan, K., & Chang, T. G. (2013). Surface electromyography signal processing and classification techniques. *Sensors*, *13*, 12431–12466. <https://doi.org/10.3390/s130912431>
- Clark, B., & Manini, T. (2008). Sarcopenia - Dynapenia. *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, *63*(8), 829–834. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/gerona/63.8.829>
- Clark, D., & Fielding, R. (2012). Neuromuscular contributions to age-related weakness. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, *67 A* (1), 41–47. <https://doi.org/10.1093/gerona/67A1.1.41>
- Clark, D. J., Patten, C., Reid, K. F., Carabello, R. J., Phillips, E. M., & Fielding, R. A. (2011). Muscle Performance and Physical Function Are Associated With Voluntary Rate of Neuromuscular Activation in Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, *66*(1), 115–121. <https://doi.org/10.1093/gerona/66.1.115>
- Earles, D. R., Judge, J. O., & Gunnarsson, O. T. (2001). Velocity training induces power-specific adaptations in highly functioning older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(7), 872–878. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.23838>
- Edholm, P., Strandberg, E., & Kadi, F. (2017). Lower limb explosive strength capacity in elderly women: effects of resistance training and healthy diet. *J Appl Physiol*, *123*, 190–196. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00924.2016>
- Eriksen, C. S., Garde, E., Reisle, N. L., Wimmelmann, C. L., Bieler, T., Ziegler, A. K., Gylling, A. T., Dideriksen, K. J., Siebner, H. R., Mortensen, E. L., & Kjaer, M. (2016). Physical activity as intervention for age-related loss of muscle mass and function: protocol for a randomised controlled trial (the LISA study). *BMJ Open*, *6*(12), e012951. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012951>
- Evans, W. J. (2000). Exercise Strategies Should Be Designed to Increase Muscle Power. In *Journal of Gerontology* (Vol. 55, Issue 6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/gerona/55.6.M309>
- Fernández, J., & Hoyos, L. (2020). Efectos de la velocidad de entrenamiento en fuerza sobre diversas manifestaciones de la fuerza en mujeres adultas mayores. *Retos*, *38*, 325–332. <https://doi.org/https://doi.org/10.47197/retos.v38i38.73917>
- Fiatarone, M. A., Marks, E. C., Ryan, N. D., Meredith, C. N.,

- Lipsitz, L. A., & Evans, W. J. (1990). High-Intensity Strength Training in Nonagenarians Effects on Skeletal Muscle. *JAMA*, 263(22). <http://jama.jamanetwork.com/>
- Fielding, R. A., Lebrasseur, N. K., Cuoco, A., & Bean, J. (2002). High-Velocity Resistance Training Increases Skeletal Muscle Peak. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50, 655–662.
- Frontera, W., Meredith, C., O’rilly, K., Knuttgen, H., & Evans, W. (1988). Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol*, 64, 1038:1044.
- Hagerman, F., Walsh, S., Staron, R., Hikida, R., Gilders, R., Murray, T., Toma, K., & Ragg, K. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *Journal of Gerontology*, 55(7), 336–346.
- Hakkinen, K., Kraemer, W., Newton, R., & Alen, M. (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance / power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiol Scand*, 171, 51–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2001.00781.x>
- Henwood, T. R., & Taaffe, D. R. (2005). Improved physical performance in older adults undertaking a short-term programme of high-velocity resistance training. *Gerontology*, 51(2), 108–115. <https://doi.org/10.1159/000082195>
- Hermens, H., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10, 361–374. [https://doi.org/10.1016/s1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/s1050-6411(00)00027-4)
- Hoppeler, H. (2016). Molecular networks in skeletal muscle plasticity. In *Journal of Experimental Biology* (Vol. 219, Issue 2, pp. 205–213). Company of Biologists Ltd. <https://doi.org/10.1242/jeb.128207>
- Huang, S. W., Ku, J. W., Lin, L. F., Liao, C. D., Chou, L. C., & Liou, T. H. (2017). Body composition influenced by progressive elastic band resistance exercise of sarcopenic obesity elderly women: a pilot randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.04443-4>
- Ivey, F. M., Tracy, B. L., Lemmer, J. T., Nesaiver, M., Metter, E. J., Fozard, J. L., & Hurley, B. F. (2000). Effects of Strength Training and Detraining on Muscle Quality: Age and Gender Comparisons. *Journal of Gerontology: BIOLOGICAL SCIENCES Copyright*, 55(3), 152–157. <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article/55/3/B152/2947975>
- Jenkins, N. D. M., Miramonti, A. A., Hill, E. C., Smith, C. M., Cochrane-snyman, K. C., Housh, T. J., & Cramer, J. T. (2017). Greater Neural Adaptations following High- vs. Low-Load Resistance Training. *Frontiers in Physiology*, 8(May), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00331>
- Lamoureux, E. L., Sparrow, W. A., Murphy, A., & Newton, R. U. (2001). Differences in the Neuromuscular Capacity and Lean Muscle Tissue in Old and Older Community-Dwelling Adults. In *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES Copyright* (Vol. 56, Issue 6). <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article/56/6/M381/526402>
- Lee, I., Cho, J., Jin, Y., Ha, C., Kim, T., & Kang, H. (2016). Body fat and physical activity modulate the association between sarcopenia and osteoporosis in elderly Korean women. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(3), 477–482.
- Lowry, K. a, Vallejo, A. N., & Studenski, S. a. (2012). Successful aging as a continuum of functional independence: lessons from physical disability models of aging. *Aging and Disease*, 3(1), 5–15. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3320804&tool=pmcentrez&render-type=abstract>
- Lugo, L. H. (2012). Validez y confiabilidad de la Escala de Tinetti para población colombiana Validity and reliability of Tinetti Scale for Colombian people. *Rev. Colomb. Reumatol.*, 19(4), 218–233.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2012). Dynapenia and aging: An update. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 67 A(1), 28–40. <https://doi.org/10.1093/gerona/glr010>
- Marsh, A. P., Miller, M. E., Sciences, B., & Rejeski, W. J. (2015). Lower Extremity Muscle Function After Strength or Power Training in Older Adults. *J Aging Phys Act.*, 17(4), 416–443.
- Mc Dermott, E. J., Balshaw, T. G., Brooke-Wavell, K., Maden-Wilkinson, T. M., & Folland, J. P. (2022). Fast and ballistic contractions involve greater neuromuscular power production in older adults during resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 122(7), 1639–1655. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04947-x>
- Merletti, R., Farina, D., Gazzoni, M., & Schieronni, M. P. (2002). Effect of age on muscle functions investigated with surface electromyography. *Muscle and Nerve*, 25(1), 65–76. <https://doi.org/10.1002/mus.10014>
- Noronha, A. S. N., Penna, E. M., Dias, R. K. N., De Azevedo, A. B. C., & Coswig, V. S. (2022). High and Low-speed Resistance Training Induce Similar Physical and Functional Responses in Older Women. *Int. j. Exerc. Sci.* <http://www.intjexercsci.com>
- Pereira, A., Izquierdo, M., Silva, A. J., Costa, A. M., Bastos, E., González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2012). Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Experimental Gerontology*, 47, 250–255. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2011.12.010>
- Pérez-López, F. R., & Ara, I. (2016). Frailty fracture risk and skeletal muscle function. *Climacteric*, 19(1), 37–41. <https://doi.org/10.3109/13697137.2015.1115261>
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., Sen, A., & Gordon, P. M. (2010). Resistance exercise for muscular strength in older adults: A meta-analysis. In *Ageing Research Reviews* (Vol. 9, Issue 3, pp. 226–237). <https://doi.org/10.1016/j.arr.2010.03.004>
- Power, G. A., Allen, X. M. D., Gilmore, K. J., Stashuk, D. W., Doherty, T. J., Hepple, R. T., Taivassalo, T., & Rice, C. L. (2016). Motor unit number and transmission stability in octogenarian world class athletes: Can age-related deficits be outrun? *Journal of Applied Physiology*, 121(4), 1013–1020. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00149.2016>
- Power, G. A., Dalton, B. H., & Rice, C. L. (2013). Human neuromuscular structure and function in old age: A brief review. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 2, Issue 4, pp. 215–226). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2013.07.001>
- Radaelli, R., Botton, C. E., Wilhelm, E. N., Bottaro, M., Lac-erda, F., Gaya, A., Moraes, K., Peruzzolo, A., Brown, L. E.,

- & Pinto, R. S. (2013). Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women. *Experimental Gerontology*, *48*(8), 710–716. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.04.003>
- Ratamess, N., Alvar, B., Evetoch, T., Housh, T., Kibler, B., Kraemer, W., & Triplett, T. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Reid, K. F., & Fielding, R. A. (2012). Skeletal muscle power: A critical determinant of physical functioning in older adults. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *40*(1), 4–12. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e31823b5f13>
- Riebe, D., Ep-c, A., Ehrman, J. K., Liguori, G., & Magal, M. (2018). *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription*.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2013). Development and validation of criterion-referenced clinically relevant fitness standards for maintaining physical independence in later years. *Gerontologist*, *53*(2), 255–267. <https://doi.org/10.1093/geront/gns071>
- Robert, S., & Frederick, C. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *Journal of Gerontology: BIOLOGICAL SCIENCES*, *55*(7), 336–346.
- Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., & González-Badillo, J. J. (2018). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *38*(5), 743–762. <https://doi.org/10.1111/cpf.12495>
- Sampson, J. A., & Groeller, H. (2016). Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *26*(4), 375–383. <https://doi.org/10.1111/sms.12445>
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(2), 123–129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- Sayers, S. P., & Gibson, K. (2014). High-speed power training in older adults: A shift of the external resistance at which peak power is produced. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(3), 616–621. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a361b8>
- Schaun, G. Z., Bamman, M. M., Andrade, L. S., David, G. B., Krüger, V. L., Marins, E. F., Nunes, G. N., Häfele, M. S., Mendes, G. F., Gomes, M. L. B., Campelo, P. C., Pinto, S. S., & Alberton, C. L. (2022). High-velocity resistance training mitigates physiological and functional impairments in middle-aged and older adults with and without mobility-limitation. *GeroScience*, *44*(3), 1175–1197. <https://doi.org/10.1007/s11357-022-00520-8>
- Schlicht, J., Camaione, D. N., & Owen, S. V. (2001). Effect of intense strength training on standing balance, walking speed, and sit-to-stand performance in older adults. *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, *56*(5), 281–286. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.5.m281>
- Seo, D. Y., Lee, S. R., Kim, N., Ko, K. S., Rhee, B. D., & Han, J. (2016). Age-related changes in skeletal muscle mitochondria: the role of exercise. *Integrative Medicine Research*, *5*(3), 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2016.07.003>
- Ullrich, B., Holzinger, S., Soleimani, M., Pelzer, T., Stening, J., & Pfeiffer, M. (2015). Neuromuscular responses to 14 weeks of traditional and daily undulating resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, *36*(7), 554–562. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398529>
- Vieira, I. P., Lobo, P. C. B., Fisher, J., Ramirez-Campilo, R., Pimentel, G. D., & Gentil, P. (2022). Effects of High-Speed Versus Traditional Resistance Training in Older Adults. *Sports Health*, *14*(2), 283–291. <https://doi.org/10.1177/19417381211015211>
- Vincent, K. R., Braith, R. W., Feldman, R. A., Magyari, P. M., Cutler, R. B., Persin, S. A., Lennon, S. L., & Gabr, A. H. (2002). Resistance Exercise and Physical Performance in Adults Aged 60 to 83. *J Am Geriatr Soc.*, *50*(6), 1100–1107.