



Influence of the strength of the ankle plantar flexors on dynamic balance in 55-65-year-old women

Influencia de la fuerza de los flexores plantares del tobillo en el equilibrio dinámico de mujeres de 55-65 años

Antonio Cejudo¹, Miguel Ángel Esparza Montero^{1*}

¹ Faculty of Sport Sciences, University of Murcia, Spain.

* Correspondence: Miguel Ángel Esparza Montero; miguelangel.esparzam@um.es

ABSTRACT

Objectives: The loss of strength of the plantar flexors of the ankle associated with aging may limit the performance of balance in the functional activities of daily life in older adults. The deficit of strength of this musculature and an inadequate dynamic balance have been correlated with an increased risk of falls in older adults. Therefore, the main objective of the present study is to analyse the association between the strength of the plantar flexors and the dynamic balance in older women.

Methods: A total of 79 older women, between the ages of 55 and 65, participated in the present study. Subjects participated in a systematic program of physical exercise in a private fitness center of the Region of Murcia during the year 2019. A cross-sectional correlational study was designed to correlate the dynamic balance, assessed with the Y-balance Test (YB) and the Timed Up and Go Test (TUG), with the strength of the ankle plantar flexors, assessed with the Calf-raise test (CR). A Wilcoxon test was carried out to evaluate the differences between the values of the dominant and non-dominant sides in the balance test Y-Balance test. A Spearman correlation analysis was applied to observe if the strength of the plantar flexors of the ankle was associated with the two tests of dynamic balance.

Findings: A significant "small" correlation between the strength of the plantar flexors of the ankle and the postero-lateral dynamic balance "Y-Balance" ($p = 0.023$, $r = 0.256$) was found in the subjects of the present study.

Conclusions: The main finding of the present study was that 55-65-year-old women need to train the strength of the plantar flexors of the ankle to improve the unipodal dynamic balance and minimize the possible risk of falling.

KEYWORDS: Triceps surae; Coordination; Falls risk; Older adults.

RESUMEN

Objetivos: La pérdida de fuerza de los flexores plantares del tobillo relacionada con el envejecimiento puede limitar el rendimiento de equilibrio en las actividades funcionales de la vida diaria en adultos mayores. El déficit de fuerza de esta musculatura y un inadecuado equilibrio dinámico han sido correlacionados con un incremento del riesgo de caídas en los adultos mayores. Por tanto, el principal objetivo del presente estudio es analizar la asociación entre la fuerza de los flexores plantares y el equilibrio dinámico en mujeres mayores.

Métodos: Un total de 79 mujeres con edades comprendidas entre 55 y 65 años participaron en el presente estudio. Los sujetos participaban en un programa sistemático de ejercicio físico en un centro de fitness privado de la Región de Murcia durante el curso 2019. Un estudio transversal correlacional fue diseñado para correlacionar el equilibrio dinámico valorado mediante los tests Y-balance Test (YB) y Timed Up and Go Test (TUG) con la fuerza de los flexores plantares del tobillo, medida mediante el test Calf-raise (CR). Una prueba de Wilcoxon se llevó a cabo para evaluar las diferencias entre los valores de los lados dominante y no dominante en el test de equilibrio Y-Balance test. Un análisis de correlación de Spearman fue aplicado para observar si la fuerza de los flexores plantares del tobillo se asociaba con los dos tests de equilibrio dinámico.

Resultados: Una correlación “pequeña” significativa entre la fuerza de los flexores plantares del tobillo y el equilibrio dinámico Y-Balance postero-lateral ($p = 0,023$; $r = 0,256$) fue encontrada en los sujetos del presente estudio de investigación.

Conclusiones: El principal hallazgo del presente estudio fue que las mujeres de 55-65 años precisan entrenar la fuerza de los flexores plantares del tobillo para mejorar el equilibrio dinámico unipodal y minimizar el posible riesgo de caída.

PALABRAS CLAVE: Tríceps sural; Coordinación; Riesgo de caídas; Adultos mayores.

1. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento es un proceso propio de la vida de los seres humanos. Las personas más afectadas por este proceso de la vida son los adultos mayores de 55 o 60 años [1]. Este proceso conlleva una serie de cambios en los diferentes sistemas y aparatos del cuerpo humano, tales como cardiovascular, metabólico, respiratorio, músculo-esquelético, etc., los cuales reducen la capacidad de esfuerzo y resistencia al estrés físico de esta población, repercutiendo en su autonomía, calidad de vida, habilidad y capacidad de aprendizaje motor [2].

Uno de los factores de riesgo que más afecta negativamente a este proceso de envejecimiento es el sedentarismo [3]. El progreso de envejecimiento asociado con un estilo de vida sedentario ha sido asociado significativamente con la pérdida de fuerza y potencia muscular. En este sentido, se ha demostrado que la capacidad de la fuerza disminuye conforme avanza la edad, siendo esta disminución significativa a partir de la década de los 30 años y los 50 años en hombres y mujeres, respectivamente [4]. Los efectos más notables de reducción de fuerza se han localizado principalmente en las extremidades, especialmente en el miembro inferior [4].

Una disminución en la fuerza muscular es un factor importante que afecta la aptitud física de los adultos mayores. Un estudio encontró una relación positiva significativa entre las variables fuerza de prensión manual y velocidad de la marcha y la variable rendimiento funcional en hombres adultos mayores [5]. Asimismo, un estudio prospectivo de 2,5 años de duración encontró, en una muestra de 3075 hombres y mujeres de 70 a 79 años, que la atrofia muscular y la disminución de la fuerza de los extensores de las piernas se asocian a pérdida de movilidad [6]. Del mismo modo, valores bajos de fuerza de extensión de las piernas se asocian a limitaciones en las actividades de la vida diaria en adultos mayores, como desplazarse en casa o al aire libre [7]. Además, la debilidad de los músculos de la extremidad inferior, flexores y extensores de las piernas, contribuye de manera significativa a la pérdida de la función física [8]. Por tanto, un déficit en la fuerza muscular puede llevar a una disminución general de la independencia [9].

Otros autores han demostrado que la atrofia muscular y déficit de fuerza se consideran factores de riesgo intrínseco de caídas y, en consecuencia, fracturas óseas en adultos mayores [10]. Además, una mayor fuerza máxima isométrica de los flexores y extensores de las piernas se asocia a un mayor mantenimiento del equilibrio tras resbalar caminando [11]. Recientemente se ha demostrado que los adultos mayores que han sufrido caídas presentan valores disminuidos de fuerza y control neuromotor [12].

Concretamente, los cambios neuromusculares del complejo músculo-tendón de los flexores del tobillo plantar parecen jugar un papel muy importante en el riesgo de caídas en adultos mayores [9,10]; también, la disminución de la fuerza de la flexión plantar del tobillo relacionada con el envejecimiento puede limitar el rendimiento de equilibrio dinámico en las actividades funcionales de la vida diaria en adultos mayores [13]. Varios autores han observado que la debilidad muscular de los flexores plantares [14] y del flexor del dedo del pie [15] contribuye a una mala alineación de las extremidades inferiores (caída del navicular, inversión del calcáneo y valgo dinámico de rodilla), que se asocia directamente con la pérdida de equilibrio y el riesgo de caídas en personas mayores [16].

La fuerza del flexor plantar del tobillo puede ser útil para reconocer tempranamente el riesgo de caídas, indirectamente a través del equilibrio dinámico funcional [16]. La aptitud para realizar repeticiones de elevación del talón disminuye con la edad, y se observan peores valores en las mujeres en comparación con los hombres [17,18]; asimismo, la fuerza muscular es generalmente más débil en las mujeres [19,20].

Los profesionales de Ciencias del Deporte e investigadores de medicina deportiva utilizan el test de elevaciones de talón “calf-raise test”, también conocido como “heel-rise test” (CR) para valorar la fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo en adultos mayores funcionalmente independientes [17,21].

Este test implica contracciones continuas concéntricas y excéntricas de los flexores plantares del tobillo con un rango de movimiento máximo en posición unipodal o bipodal. Al final del test se cuantifica el número de elevaciones del talón durante treinta segundos. Varios autores muestran que este test de rendimiento aporta información indirecta del grado de discapacidad o rendimiento funcional en adultos mayores [18,21].

Algunos autores han relacionado teóricamente la fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo con el equilibrio dinámico [17,22]. Un estudio encontró una asociación positiva entre el rendimiento de la fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo y el equilibrio estático (movimiento de presión en una plataforma) y dinámico (caminar rápidamente 2 x 8 m) [22]. En otro estudio con una muestra de 40 mujeres sanas, mayores y activas independientemente, se halló una correlación positiva entre la fuerza del abductor de la cadera y del flexor de la rodilla, y la distancia alcanzada en el test Y-balance [23].

Por ello, la identificación de los factores de riesgo de las caídas es fundamental para el desarrollo de estrategias de intervención preventivas y apropiadas, con el objetivo de reducir su incidencia en la población mayor. En esta población, varios autores han encontrado que la fuerza es un importante predictor del riesgo de caída y rendimiento neuromotor, siendo un requisito previo importante para la independencia en las actividades funcionales de la vida diaria [18,13].

El test “timed up and go” (TUG) y el test “Y-balance” (YB) son dos test utilizados para valorar el rendimiento neuromotor en la población adulta mayor, concretamente el equilibrio dinámico funcional [24,25]. El test TUG está diseñado para medir la movilidad funcional y se asocia con el riesgo de caídas; su procedimiento incluye levantarse, pararse, caminar, girar y sentarse [26]. El YB consiste en mantener una postura vertical unilateral mientras se alcanza la máxima distancia con la pierna contralateral en la dirección deseada, lo que requiere fuerza de la extremidad inferior para mantener el equilibrio dinámico [27].

Ambos tests de campo pueden proporcionar información indirecta sobre la funcionalidad dinámica de los músculos del tobillo, ya que sus resultados dependen de la fuerza y la potencia generada por los músculos extensores plantares del tobillo para realizar la tarea motora en el periodo más breve posible.

Muehlbauer et al. [28] muestran que la fuerza y el equilibrio dinámico representan componentes importantes para la salud y para las habilidades relacionadas con la aptitud física que deben desarrollarse para realizar actividades de la vida diaria y evitar las caídas. Aunque la fuerza muscular se considera un factor importante que influye en el equilibrio dinámico funcional, solamente se pueden encontrar algunas referencias en la literatura científica que relacionen el test de campo de la fuerza con las pruebas de equilibrio dinámico funcional en la población de mayor [22, 26,13].

Por tanto, el objetivo del presente estudio fue analizar la relación entre la fuerza de los flexores plantares del tobillo y el equilibrio dinámico en mujeres adultas mayores. En este estudio se contrasta la siguiente hipótesis: valores elevados de fuerza muscular de los flexores plantares del tobillo mejoran el equilibrio dinámico en mujeres mayores.

2. MÉTODOS

2.1. Características de los participantes y muestra.

Un estudio transversal correlacional fue diseñado para correlacionar la fuerza de los flexores plantares del tobillo con el equilibrio dinámico. Un total de 79 adultos mayores, mujeres con edades comprendidas entre 55 y 65 años (edad media: 59,2 años; masa corporal media: 70,5 kg; altura media: 160,7 cm) participaron voluntariamente en el presente estudio (Tabla 1). Los sujetos fueron intencionadamente seleccionados de un programa sistemático de ejercicio físico de varios Centros Sociales de Mayores del municipio de Fuente Álamo (Murcia, España) durante el curso 2019.

Tabla 1. Datos demográficos y hábito de ejercicio físico en las 79 mujeres mayores participantes

	Mínimo	Máximo	Media ± Desviación Estándar
Edad (años)	55,0	65,0	59,2 ± 3,8
Masa corporal (kg)	49,0	95,0	70,5 ± 10,4
Altura (cm)	150,0	173,0	160,7 ± 5,2
Índice de masa corporal (kg/m ²)	19,7	37,1	27,3 ± 3,9
Longitud del miembro inferior (cm)	60,5	88,5	76,9 ± 6,4
Experiencia en un programa Fitness (años)	2,0	10,0	4,0 ± 2,2
Horas de entrenamiento/Semana (h)	2,0	7,0	2,6 ± 1,0
Duración de la sesión de entrenamiento (h)	1,0	1,0	1,0 ± 0,0

Se pidió permiso a los directores de los Centros Sociales de Mayores y a la concejalía de Deporte del Ayuntamiento local para desarrollar el presente estudio. Como criterios de inclusión se establecieron: (a) un mínimo de 2 años de experiencia en el programa de ejercicio físico sistemático del Centros Social de Mayores, y (b) una edad comprendida entre 55 y 65 años. Como criterios de exclusión se establecieron: (a) alguna discapacidad física que limitara su desempeño físico-funcional, (b) poseer una historia clínica de alteraciones músculo-esqueléticas de la extremidad inferior en los 6 meses previos al presente procedimiento exploratorio; y (c) presentar dolor muscular de aparición tardía (agujetas) en el momento de ser evaluado. Tanto los participantes como los monitores de la actividad de ejercicio físico fueron verbalmente informados de la metodología a utilizar, así como de los propósitos y posibles riesgos del estudio; un consentimiento informado fue firmado por cada uno de ellos antes del inicio del procedimiento de valoración; también una de las participantes firmó un consentimiento de cesión de derechos de imágenes para proceder posteriormente a fotografiar la ejecución de todas las pruebas exploratorias. Una semana antes del procedimiento exploratorio, fue entregada una hoja informativa a cada participante, con la explicación del procedimiento del estudio y su finalidad, por si hubiera quedado alguna duda después de la explicación verbal.

2.2. Procedimiento e Instrumentos.

Una semana antes del inicio del estudio, todos los participantes completaron una sesión de familiarización con el propósito de conocer la correcta ejecución de las pruebas exploratorias mediante la realización práctica de cada una de ellas. Además, durante esta sesión de familiarización, se pidió a cada participante que realizara dos pruebas para conocer su extremidad dominante: (1) golpear una pelota, (2) subirse a un taburete con una pierna, siguiendo la metodología descrita por Wang et al. [29]. La extremidad que coincidió en ambas pruebas fue designada como dominante. La elección de los test de valoración se estableció en función de los siguientes criterios: 1) elevada validez y fiabilidad, 2) procedimiento exploratorio sencillo, rápido y cómodo.

La sesión de valoración fue llevada a cabo por un examinador novel, que contaba con una experiencia de 1 año; este examinador principal recibió durante este periodo de tiempo 5 seminarios de formación teórico-práctica académica de valoración de la condición física y salud en personas mayores después de analizar las principales baterías publicadas [30].

Dada la escasa experiencia del examinador, se diseñó un estudio piloto para conocer la fiabilidad de la medida en las diferentes pruebas exploratorias. En este estudio se estableció una medición test-retest en una muestra similar de conveniencia ($n = 20$), con dos días de intervalo de tiempo entre las dos sesiones de valoración. Los valores de los índices de correlación intraclase y mínimo cambio

detectable al 95% de probabilidad para todas las medidas fueron 0,96 y 5,3 cm (test CR), 0,94 a 0,99 y 4,9 a 5,4 cm (test YB) y 0,97 y 0,55 s (Test TUG), respectivamente.

Todas las valoraciones se realizaron en las mismas condiciones ambientales y durante la misma franja horaria para tratar de minimizar la posible influencia de la variabilidad inter-examinador y de los ritmos circadianos sobre los resultados [31]. Además, los participantes fueron instados a realizar la sesión de valoración en el mismo día y franja horaria que normalmente realizaban sus sesiones de entrenamiento para minimizar la variabilidad intra-sujeto [32]. Antes de aplicar los diferentes test exploratorios, todos los participantes recibían unas indicaciones generales de apoyo para la correcta realización de los test.

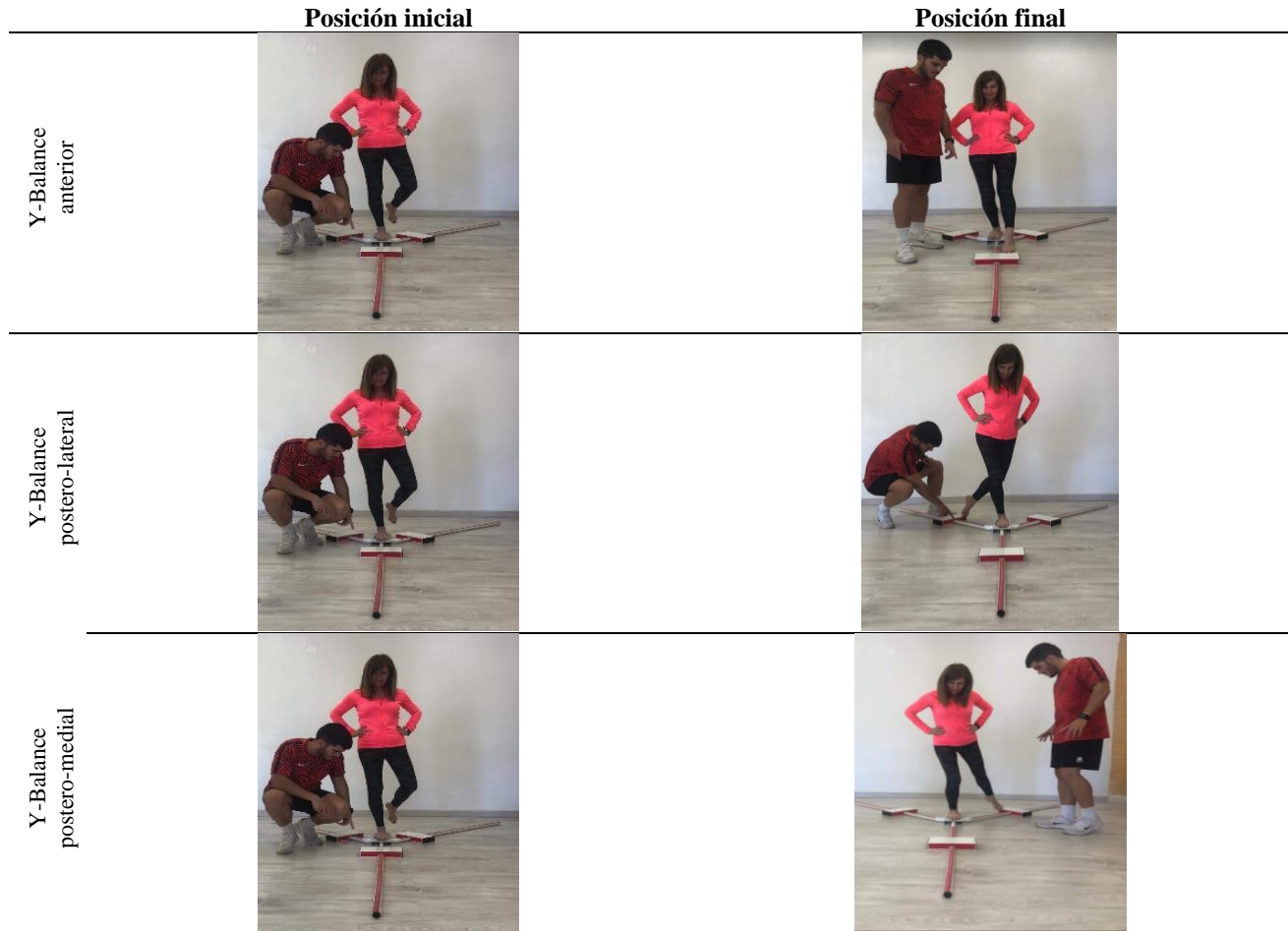
2.3. Pruebas de valoración

Todos los sujetos realizaron los siguientes test de equilibrio dinámico (Y-Balance [Figura 1] y 3 meters-timed up and go [Figura 2]) y el test 30s-Calf Raise senior (Figura 3) en dos sesiones diferentes.

2.3.1. Test “Y-Balance”

Antes del comienzo de la valoración, los sujetos realizaron 2 repeticiones en cada dirección para que cada pierna se familiarizase con el test. Todos los sujetos realizaron dos intentos correctos en cada dirección (para cada extremidad) y se utilizó el mejor resultado para el posterior análisis estadístico. El resultado se expresó en centímetros y se normalizó la medida debido a la influencia en el rendimiento entre personas mayores con diferente longitud de la extremidad inferior. La normalización de la medida se calculó dividiendo la distancia alcanzada entre la longitud de la extremidad inferior del participante, y multiplicando a continuación por 100 [33]. La longitud de la pierna de la extremidad inferior se midió con una cinta métrica no extensible desde la espina ilíaca anterior superior a la porción más distal del maléolo medial y se expresó en centímetros [27]. El test Y-Balance valora el equilibrio dinámico y el déficit en el control postural dinámico, así como el riesgo de caídas.

Figura 1. Procedimiento de valoración del test Y-Balance (Y-B)



Posición inicial:

El participante se coloca de pie en apoyo unipodal sobre la parte central de apoyo del Y-Balance detrás de la línea marcada, sin calzado, con ambas manos apoyadas en la cadera.

Movimiento:

El participante empuja con la punta del pie contralateral al apoyo el cajón hasta el máximo de sus posibilidades, siguiendo una guía reglada, y luego vuelve a la posición inicial sin perder el equilibrio. Este test tiene que ejecutarse en las tres direcciones prefijadas (anterior, posteromedial y posterolateral) por el instrumento de medida. Cada participante realiza dos intentos máximos.

Posición final:

El participante debe volver a la posición inicial sin perder el equilibrio manteniendo un único apoyo y las manos en la cadera.

Medición:

Se registra el alcance del cajón de plástico en centímetros en las tres direcciones.

Observaciones:

El examinador debe controlar que la planta del pie de la extremidad valorada permanezca apoyada en la base de YB. El pie no debe sobrepasar la línea roja con la punta del pie. El pie debe empujar y acompañar el cajón de plástico durante todo el recorrido evitando lanzar el cajón al final de este.

2.3.2. Test “3 meters-timed up and go” (3m-TUG)

El test TUG es un test que se utiliza para valorar el equilibrio dinámico de una persona. A la persona se le pide levantarse de una silla, caminar tres metros, dar la vuelta alrededor de un cono, caminar de regreso a la silla y sentarse. También se evalúa la coordinación que tiene la persona para juntar todas esas destrezas y ponerlas en marcha [19, 30]. Las mediciones de 3m-TUG se obtuvieron utilizando una silla ordinaria (43 cm de altura) y un cronómetro. Los sujetos estaban sentados con la espalda apoyada en la silla. Se les pidió que se levantaran, caminaran tres metros (hasta una marca en el suelo), dieran la vuelta, volvieran a la silla y se sentaran [19]. La tarea se debía hacer a una velocidad cómoda ordinaria. El cronómetro comenzó con la palabra "ir" y se detuvo cuando el sujeto se sentó. El tiempo se midió en segundos (s). Si el participante no puede apoyar las plantas de los pies en el suelo y la espalda en el respaldo de la silla debido a su baja estatura, se utiliza una silla con menor altura del asiento [34].

Figura 2. Procedimiento de valoración del test “3 meters-timed up and go” (3m-TUG)



Posición inicial:

El test TUG se realiza desde posición de sentado, andando lo más rápido posible.

Movimiento:

El test se realizó con una silla en la que la persona examinada se encontraba a una distancia óptima que no influía en la velocidad a la hora de levantarse. La silla tenía unas medidas estándar y la articulación de la rodilla quedaba a unos 90°.

Posición final:

Igual que la posición inicial. El explorado debe volver a la posición inicial sin perder el equilibrio.

Medición:

Se registra el tiempo (en segundos) que el sujeto tarda en realizar todo el test.

Observaciones:

El examinador auxiliar debe controlar que la persona examinada que realiza el test no pase a la fase de correr, es decir, que siempre tenga un pie en contacto con el suelo.

2.3.3. Test “30s- calf-raise senior”

El test calf-raise mide la fuerza-resistencia que tienen los participantes en los flexores plantares del tobillo [21]. La prueba solicita la acción muscular concéntrica-excéntrica repetitiva de los flexores

plantares en posición bípeda y se cuantifica por el máximo número de repeticiones realizadas durante 30 segundos [17].

Figura 3. Procedimiento de valoración del Calf Raise (CR)



Posición inicial:

El test se realiza con apoyo bipodal y colocando los dedos de ambas manos en la pared con el objetivo único de no perder el equilibrio.

Movimiento:

El test se realizó sin calzado, colocando los pies a la misma altura, apoyando las manos en la pared y realizando una flexión plantar con ambos pies, repitiendo este movimiento el máximo número posible de veces durante 30 segundos.

Posición final:

El sujeto debe volver a la posición inicial sin perder el equilibrio.

Medición:

Se cuantifica el número de repeticiones realizadas durante 30 segundos. También se registra el alcance de lo que sube el sujeto, anotando en centímetros la altura subida.

Observaciones:

El examinador auxiliar debe controlar que el sujeto no salte, pierda el equilibrio o se ayude con las manos. Además debe asegurarse de que el sujeto examinado siempre llegue al mínimo exigido.

Cada participante fue valorado con ropa deportiva y descalzo. Se permitió un periodo de descanso de aproximadamente 30 segundos entre cada uno de los dos intentos. Para la sesión de valoración, se utilizó un Y-balance (Y Balance Test™), con su estructura de PVC y cajones homologados para una buena realización del test. También se utilizó una cinta métrica fijada a una base vertical y una pared fue utilizada para valorar el calf-raise. En el test Timed Up and Go se emplearon un cronómetro, una silla (43 cm de altura) y un cono con una pica.

2.4. Análisis estadístico

La distribución normal de los datos fue comprobada a través de la prueba de Kolmogorov–Smirnov. Se realizó un análisis descriptivo de cada una de las variables cuantitativas, que incluía la media y su correspondiente desviación típica, para cada una de las variables de los tests de fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo y de equilibrio dinámico. Para examinar la existencia de asimetría entre los valores de los lados dominante y no dominante se utilizó la prueba de Wilcoxon (datos no paramétricos); además, se calculó el tamaño del efecto de Cohen de todos los resultados, y

la magnitud del efecto fue interpretada de acuerdo a los criterios de Hopkins [32]: un tamaño de efecto menor de 0,2, de 0,2 a 0,59, de 0,6 a 1,19, de 1,20 a 2,00, de 2,00 a 3,99 y superior a 4,00 fue considerado como trivial, pequeño, moderado, grande, muy grande y extremadamente grande, respectivamente. Los autores consideraron “moderado” como el nivel mínimo de efecto relevante con aplicación práctica en los resultados. La relación entre los test de equilibrio dinámico y el test de fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo se analizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman. La escala utilizada para interpretar la magnitud de los coeficientes de correlación fue 0,0-0,1 como trivial, 0,1-0,3 como pequeño, 0,3-0,5 como moderado, 0,5-0,7 como grande, 0,7-0,9 como muy grande y 0,9-1 casi perfecto [32]. El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0,05$. El análisis estadístico fue realizado mediante el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences, v. 24.0, para Windows; SPSS Inc, Chicago).

3. RESULTADOS

La prueba de Kolmogorov–Smirnov encontró una distribución no normal de los datos, por lo que se utilizaron pruebas estadísticas no paramétricas ($p < 0,05$). En la tabla 2 se presenta la estadística descriptiva de los test de valoración de fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo y de los tests de equilibrio dinámico.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de la fuerza de los flexores plantares del tobillo y del equilibrio dinámico en las 79 mujeres mayores participantes

	Mínimo	Máximo	Media \pm desviación estándar
Test Calf Raise (repeticiones)	4,56	9,00	6,74 \pm 1,23
Test Y-Balance: Anterior (cm)	41,2	104,8	62,9 \pm 10,7
Test Y-Balance: Posteromedial (cm)	26,8	49,8	37,0 \pm 5,7
Test Y-Balance: Posterolateral (cm)	14,9	65,2	32,5 \pm 8,3
Test 3 meters-Timed Up and Go (segundos)	4,56	9,0	6,74 \pm 1,23

Cuando se analizaron las diferencias de los valores del Y-Balance entre la extremidad dominante y no dominante de las participantes, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambos lados corporales; sin embargo, la magnitud del tamaño del efecto presentó un efecto pequeño ($d < 0,60$); por lo tanto, se utilizó la media de ambos lados corporales para el análisis estadístico correlacional.

El análisis de Spearman (Tabla 3) mostró una relación positiva significativa ($p = 0,23$; $r = 0,256$ [pequeña]) entre la fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo y el equilibrio dinámico medido con el Y-Balance postero-lateral; también se asoció significativamente la masa corporal ($p =$

0,000; $r = 0,520$ [grande]) e índice de masa corporal ($p = 0,000$; $r = 0,607$ [grande]) con el test de equilibrio dinámico TUG.

Tabla 3. Resultados del análisis correlacional de la influencia de los músculos flexores plantares del tobillo sobre el equilibrio dinámico

	Test Y-Balance						Test Timed Up and Go	
	Anterior		Posteromedial		Posterolateral		r	p valor
	r	p valor	r	p valor	r	p valor		
Test Calf-Raise Senior	-0,002	0,987	0,157	0,168	0,256*	0,023	-0,152	0,181
Masa corporal	-0,212	0,061	-0,193	0,089	-0,197	0,082	0,607**	0,000
Índice de masa corporal	-0,214	0,058	-0,131	0,249	-0,221	0,051	0,520**	0,000

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

4. DISCUSIÓN

El principal hallazgo del presente estudio fue la correlación positiva encontrada entre la fuerza de los flexores plantares del tobillo y el rendimiento en el equilibrio dinámico funcional, concretamente en el test Y-Balance en el movimiento postero-lateral. Sin embargo, la fuerza de la relación entre ambas variables es categorizada como “pequeña”. Basándonos en la experiencia de los participantes, la complejidad de este movimiento cruzado parece ser que requiere una mayor sollicitación neuromuscular de la extremidad de apoyo para mantener el equilibrio dinámico durante su ejecución en la máxima distancia. Curiosamente, el desplazamiento postero-medial, que tiene cierta complejidad, también tiene un efecto pequeño de asociación.

Posiblemente, el equilibrio dinámico en el test Y-Balance dependa del equilibrio muscular en la cadera. Durante el proceso de valoración de la prueba de equilibrio unipodal observamos que el principal inconveniente en el mantenimiento del equilibrio fue el signo de Trendelenburg. Cuando una persona está en apoyo unipodal no puede estabilizar su pelvis horizontalmente, lo que hace que la pelvis caiga hacia el otro lado [35]. En este sentido, Tazawa et al. [36] señalaron en su trabajo científico que existen dos elementos importantes que mantienen la estabilidad de la pelvis en posición bípeda: la fuerza de los músculos circundantes de la cadera (desequilibrio entre los músculos abductores y los aductores de cadera; principalmente por la debilidad de músculo glúteo medio) y el sistema de palanca del cuello y la cabeza femorales en la articulación de la cadera. La población mayor con osteoartritis, especialmente del tipo displásico, tienen una cabeza femoral deformada y un músculo abductor de la cadera debilitado [37].

Por otro lado, el desplazamiento anterior en el Y-Balance parece estar más correlacionado con el grado de dorsi-flexión del tobillo de la extremidad de apoyo [38,39]. Hay una escasez de estudios que analicen la correlación entre la fuerza de los flexores plantares del tobillo y el equilibrio dinámico

empleando tests de condición física funcionales, como el YB y el TUG, los cuales han sido correlacionados con el riesgo de caídas en población adulta mayor [40,13].

Hashish et al. [22] observaron que el rendimiento del flexor plantar del tobillo medido por el test de "elevación unilateral del talón" influyó positivamente en el equilibrio estático (centro de movimiento de la presión) y dinámico ("2 x 8 m caminando") en veintidós adultos. Otro estudio en 20 mujeres mayores, encontró que la fuerza del abductor de la cadera y del flexor de la rodilla se correlacionaron positivamente con la distancia máxima del test Y-Balance [23].

Chtara et al. [27] observaron que la fuerza isométrica de los músculos de las extremidades inferiores estaba significativamente relacionada con el equilibrio dinámico valorado mediante el test YB en veintiséis futbolistas de élite. Chalapud y Escobar [41] concluyeron que había una relación directa entre la fuerza del miembro inferior y el equilibrio dinámico, por lo que la realización de actividad física es efectiva para mejorar esas capacidades, lo que permitirá conservar la funcionalidad y la autonomía de las personas.

Por último, resulta sorprendente la no asociación entre la fuerza-resistencia de los flexores plantares y el equilibrio dinámico valorado con el test TUG. Estudios previos han encontrado relación entre la fuerza de los flexores plantares del tobillo y actividades cotidianas de la vida diaria como levantarse de una silla, desplazarse rápidamente o trotar y girar alrededor de un cono [42,43]. Sin embargo, sí hubo una relación positiva significativa entre la fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo y la composición corporal; las mujeres mayores con mayor masa corporal e índice de masa corporal tuvieron un menor rendimiento en el test de equilibrio dinámico TUG [44].

5. CONCLUSIONES

El principal hallazgo del presente estudio científico fue que la fuerza de los flexores plantares del tobillo se asoció significativamente con el equilibrio dinámico posterolateral evaluado a través del test "Y-Balance" en mujeres mayores.

5.1. Aplicaciones prácticas

En primer lugar, se puede promover la valoración de los flexores plantares del tobillo con el test CR dentro de los programas de ejercicio físico de la población mayor para identificar a las mujeres mayores con más riesgo de caída (< 25 repeticiones). En aquellas personas que presenten un valor menor al indicado, se sugiere la implementación de ejercicios específicos de fortalecimiento de las extremidades inferiores, en función de los niveles de fuerza-resistencia de los flexores plantares del

tobillo. En el programa de entrenamiento se recomienda incluir una intervención de fortalecimiento del tríceps sural como proponen Lee et al. [45] para aumentar el rendimiento neuromotor funcional y prevenir las caídas. Además, basándonos en el trabajo de Guillén-Rogel et al. [46], se recomienda aplicar un entrenamiento de flexibilidad para aumentar el rango de movimiento del tobillo, ya que el aumento del rango de movimiento de la dorsi-flexión del tobillo puede desempeñar un papel importante en la fuerza del tríceps sural.

5.2. Limitaciones y propuestas de futuro

Este estudio fue llevado a cabo únicamente con mujeres debido a que estas sufren un mayor descenso de la fuerza en el miembro inferior. Inicialmente, se propuso realizar el procedimiento CR con una ejecución unipodal para observar asimetrías en esta población; sin embargo, se realizó un estudio piloto de familiarización con los diferentes procedimientos publicados pero las mujeres mayores no realizaban correctamente el test por la elevada masa corporal y problemas de equilibrio. Se recomienda que futuros estudios de investigación estudien la relación entre la fuerza-resistencia de los flexores plantares del tobillo, el equilibrio dinámico y el riesgo de caída, incluyendo a adultos mayores con diferente grado de independencia y de ambos sexos. En este sentido, sería conveniente determinar un punto de corte óptimo que discrimine entre el riesgo o no de caídas en esta población.

5. REFERENCIAS

1. Moreno González A. Incidencia de la actividad física en el adulto mayor. *Rev Int Med Cienc Act Fís.* 2005;5(20):222-236.
2. Izquierdo I, Del Río O, Rodríguez A. Tiempo dedicado a la práctica del deporte. La desigualdad de las mujeres en el uso del tiempo. Madrid: Ministerio Asuntos Sociales. Instituto de la mujer. Serie Debate 20. 1988;101-111.
3. Sarmiento Ramos ML. Envejecimiento y actividad físico-deportiva (AFD). *Int J Educ Dev.* 2016;1(2):135-142. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2016.n2.v1.579>
4. Schlüssel MM, Dos Anjos LA, de Vasconcellos MTL, Kac G. Reference values of handgrip dynamometry of healthy adults: A population-based study. *Clin Nutr.* 2008;27(4):601-607. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2008.04.004>
5. Brach JS, VanSwearingen JM. Physical impairment and disability: relationship to performance of activities of daily living in community-dwelling older men. *Phys Ther.* 2002;82(8):752-761. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.8.752>
6. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005;60(3):324-333. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.3.324>
7. Rantanen T, Era P, Heikkinen E. Maximal isometric strength and mobility among 75-year-old men and women. *Age Ageing.* 1994;23(2):123-127. <https://doi.org/10.1093/ageing/23.2.132>

8. Jung H, Yamasaki M. Association of lower extremity range of motion and muscle strength with physical performance of community-dwelling older women. *J Physiol Anthropol*. 2016;35(30). <https://doi.org/10.1186/s40101-016-0120-8>
9. Timonen L, Rantanen T, Timonen TE, Sulkava R. Effects of a group-based exercise program on the mood state of frail older women after discharge from hospital. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2002;17(12):1106-1111. <https://doi.org/10.1002/gps.757>
10. Zhang L, Guo L, Wu H, Gong, X, Lv J, Yang Y. Role of physical performance measures for identifying functional disability among Chinese older adults: Data from the China Health and Retirement Longitudinal Study. *Plos One*. 2019;14(4):e0215693. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215693>
11. Ding L, Yang F. Muscle weakness is related to slip-initiated falls among community-dwelling older adults. *J Biomech*. 2016;49(2):238–243. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.12.009>
12. Silva-Fhon JR, Partezani-Rodrigues R, Miyamura K, Fuentes-Neira W. Causas y factores asociados a las caídas del adulto mayor. *Enfermería universitaria*. 2019;16(1):31-40. <https://doi.org/10.22201/eneo.23958421e.2019.1.576>
13. Vikberg S, Sörlén N, Brandén L, Johansson J, Nordström A, Hult A, Y Nordström P. Effects of Resistance Training on Functional Strength and Muscle Mass in 70-Year-Old Individuals with Pre-sarcopenia: A Randomized Controlled Trial. *J Am Med Dir Assoc*. 2018;20(1):28-34. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2018.09.011>
14. Menz HB, Morris ME, Lord SR. Foot and ankle characteristics associated with impaired balance and functional ability in older people. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005;60(12):1546-1552. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.12.1546>
15. Mickle KJ, Caputi P, Potter JM, Steele JR. Efficacy of a progressive resistance exercise program to increase toe flexor strength in older people. *Clin Biomech*. 2016;40:14-19. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.10.005>
16. Lee SM, Cynn HS, Yoon TL, Lee JH. Effects of different heel-raise-lower exercise interventions on the strength of plantarflexion, balance, and gait parameters in stroke survivors. *Physiother Theory Pract*. 2017;33(9):706–715. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1346024>
17. André H, Carnide F, Borja E, Ramalho F, Santos-Rocha R, Veloso A. Calf-raise senior: a new test for assessment of plantar flexor muscle strength in older adults: protocol, validity, and reliability. *Clin Interv Aging*. 2016;11:1661–1674. <https://doi.org/10.2147/CIA.S115304>
18. Jan M-H, Chai H-M, Lin Y-F, et al. Effects of age and sex on the results of an ankle plantar-flexor manual muscle test. *Phys Ther*. 2005;85(10):1078–1084. <https://doi.org/10.1093/ptj/85.10.1078>
19. Jung H, Yamasaki M. Association of lower extremity range of motion and muscle strength with physical performance of community-dwelling older women. *J Physiol Anthropol*. 2016;35(30). <https://doi.org/10.1186/s40101-016-0120-8>
20. Rantanen T, Avlund k, Suominen H, Schroll M, Frändin K, Pertti E. Muscle strength as a predictor of onset of ADL dependence in people aged 75 years. *Aging Clin Exp Res*. 2002;14(3):10-15.
21. Hébert-Losier K, Newsham-West RJ, Schneiders AG, Sullivan SJ. Raising the standards of the calf-raise test: A systematic review. *J Sci Med Sport*. 2009;12(6):594–602. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.12.628>
22. Hashish R, Samarawickrame SD, Wang MY, Salem GJ. The association between unilateral heel-rise performance with static and dynamic balance in community dwelling older adults. *Geriatr Nurs*. 2015;36(1):30–34. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2014.09.003>
23. Lee DK, Kang MH, Lee TS. Relationships among the Y balance test, Berg Balance Scale, and lower limb strength in middle-aged and older females. *Braz J Phys Ther*. 2015;19(3):227-234. <http://dx.doi.org/10.1590/bjpt-rbf.2014.0096>

24. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991;39(2):142–148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
25. Lan TY, Melzer D, Tom BD, Guralnik JM. Performance tests and disability: developing an objective index of mobility-related limitation in older populations. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2002;57(5):M294–301. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.5.M294>
26. Thrane G, Joakimsen RM, Thornquist E. The association between timed up and go test and history of falls: the tromso study. *BMC Geriatr.* 2007;7(1):1. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-7-1>
27. Chtara M, Rouissi M, Bragazzi NL, Owen AL, Haddad M, Chamari K. Dynamic balance ability in young elite soccer players: implication of isometric strength. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(4):414-420. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06724-4>
28. Muehlbauer T, Gollhofer A, Granacher U. Associations Between Measures of Balance and Lower-Extremity Muscle Strength/Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2015;45(12):1671–1692. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0390-z>
29. Wang SS, Whitney SL, Burdett RG, Janosky JE. Lower extremity muscular flexibility in long distance runners. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1993;17(2):102-107. <https://doi.org/10.2519/jospt.1993.17.2.102>
30. Varela S, Ayán C, Cancela JM. Batteries assessing health related fitness in the elderly: a brief review. *Eur Rev Aging Phys. Act.* 2008;5(2):97–105. <https://doi.org/10.1007/s11556-008-0037-2>
31. Atkinson G, Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sport medicine. *Sports Med.* 1998;4:217-238. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>
32. Hopkins WG. A Scale of Magnitudes for Effect Statistics. *Sports Med.* 2019;41(5):377-400.
33. Gribble P, Hertel J. Considerations for normalizing measures of the Star Excursion Balance Test. *Meas Phys Educ Exerc Sci.* 2003;7:89-100. https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0702_3
34. Shumway-Cook A, Brauer S, Woollacott M. Predicting the Probability for Falls in Community-Dwelling Older Adults Using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther.* 2000;80(9):896–903. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.9.896>
35. Pohl MB, Kendall KD, Patel C, et al. Experimentally reduced hip-abductor muscle strength and frontal-plane biomechanics during walking. *J Athl Train.* 2015;50(4):385–391. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.5.07>
36. Tazawa M, Kurosaki M, Inoue T, et al. Superior migration of the femoral head in patients with severe hip osteoarthritis influences the gait patterns of the coronal plane. *HIP Int.* 2019;29(4):446-451. <https://doi.org/10.1177/1120700019827250>
37. Foucher KC, Hurwitz DE, Wimmer MA. Preoperative gait adaptations persist one year after surgery in clinically well-functioning total hip replacement patients. *J Biomech.* 2007;40(15):3432–3437. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.05.020>
38. Justine M, Ruzali D, Hazidin E, Said A, Bukry SA, Manaf H. Range of motion, muscle length, and balance performance in older adults with normal, pronated, and supinated feet. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(3):916–922. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.916>
39. Mecagni C, Pulliam-Smith J, Roberts K, O’Sullivan SB. Balance and Ankle Range of Motion in Community-Dwelling Women Aged 64 to 87 Years: A Correlational Study. *Phys Ther.* 2016;80(10):1004-1011. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.10.1004>
40. Thrane G, Joakimsen RM, Thornquist E. The association between timed up and go test and history of falls: The Tromsø study. *BMC Geriatr.* 2007;7(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2318-7-1>

41. Chalapud-Narváez LM, Escobar-Almario A. Actividad física para mejorar fuerza y equilibrio en el adulto mayor. *Universidad y salud*. 2017;19(1):94-101. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.73>
42. Landi F, Calvani R, Tosato M, et al. Age-Related Variations of Muscle Mass, Strength, and Physical Performance in Community-Dwellers: Results From the Milan EXPO Survey. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18(1):88.e17–88.e24. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.10.007>
43. Harris-Love MO, Benson K, Leasure E, Adams B, McIntosh V. The Influence of Upper and Lower Extremity Strength on Performance-Based Sarcopenia Assessment Tests. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2018;3(4):53. <https://doi.org/10.3390/jfmk3040053>
44. Vaquero-Cristóbal R, González-Moro IM, Cárceles FA, Simón ER. Valoración de la fuerza, la flexibilidad, el equilibrio, la resistencia y la agilidad en función del índice de masa corporal en mujeres mayores activas. *Rev Esp Geriatr Gerontol*. 2013;48(4):171-176. <https://doi.org/10.1016/j.regg.2012.11.003>
45. Lee SM, Cynn HS, Yoon TL, Lee JH. Effects of different heel-raise-lower exercise interventions on the strength of plantarflexion, balance, and gait parameters in stroke survivors. *Physiother Theory Pract*. 2017;33(9):706–715. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1346024>
46. Guillén-Rogel, P, San Emeterio C, Marín PJ. Associations between ankle dorsiflexion range of motion and foot and ankle strength in young adults. *J Phys Ther Sci*. 2017;29(8):1363–1367. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1363>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors listed have made a substantial, direct and intellectual contribution to the work, and approved it for publication.

CONFLICTS OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

FUNDING

This research received no external funding.

COPYRIGHT

© 2021 by the authors. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC BY 4.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), meaning that anyone may download and read the paper for free. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms. These conditions allow for maximum use and exposure of the work, while ensuring that the authors receive proper credit.