






Evaluación del efecto de una rutina de ejercicios acuáticos sobre la estabilidad postural de adultos mayores

Evaluating the effect of a water exercise routine on the postural stability of the elderly

Natali Olaya Mira¹  Isabel Cristina Soto Cardona²  Laura Vanesa Martínez Osorno³ 
Darwin Raúl Mercado Díaz³  Luisa María Henao Ceballos³ 
nataliolaya@itm.edu.co

1 Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Biomedical Research and Innovation Group - GI2B. Medellín, Colombia., **2** Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Biomechanical and Rehabilitation Laboratory. Medellín, Colombia., **3** Instituto Tecnológico Metropolitano, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Biomedical Engineering Program. Medellín, Colombia.,



ACCESO ABIERTO

Citation: .Olaya MN, Soto CIC, Mar´ tinez OLV, Mercado DRD, Henao CLM. **Evaluación del efecto de una rutina de ejercicios acuáticos sobre la estabilidad postural de adultos mayores.** Colomb Méd (Cali), 2021; 52(3):e2014537 <http://doi.org/10.25100/cm.v52i3.4537>

Recibido : 07 Sep 2020

Revisado: 30 Ene 2021

Aceptado : 24 Abr 2021

Publicado: 11 Jun 2021

Palabras clave:

Balance postural, estabilometría, electromiografía, hidroterapia

Keywords:

postural balance, stabilometry, electromyography, hydrotherapy

Copyright: © 2021 Universidad del Valle



Resumen

Antecedentes:

La estabilidad postural permite a los humanos mantener el centro de masa de su cuerpo dentro de su base de apoyo. Sin embargo, con el tiempo, dicha estabilidad se ve afectada por diferentes factores como la edad, el esfuerzo repetitivo y los accidentes. Si bien los estudios en este campo han investigado la efectividad de la hidroterapia, solo algunos de ellos han explorado su influencia en la estabilidad postural, lo que se refleja en la falta de investigaciones que estimen su impacto en la rehabilitación.

Objetivo:

Determinar los efectos inmediatos y finales de un protocolo de rutina acuática sobre la estabilidad postural de adultos mayores.

Métodos:

Se analizó la estabilidad postural de 20 adultos mayores de 60 años mediante métodos electromiográficos y baropodométricos. Se obtuvieron señales electromiográficas del tibial anterior, sóleo, gastrocnemio, vasto interno y bíceps femoral para calcular el porcentaje de coactivación de los músculos encargados de la estabilidad postural. Los datos baropodométricos se recolectaron para analizar el área de la elipse estabilométrica, la presión plantar media y el porcentaje de distribución del peso corporal.

Resultados:

Ambos métodos mostraron mejoras en los pacientes luego de la aplicación del protocolo de rutina acuática, lo que indica que el tipo de ejercicios acuáticos implementados en este estudio tiene efectos positivos en su estabilidad postural.

Conclusiones:

La estabilidad postural de los participantes mejoró después de cada sesión porque su índice de estabilidad disminuyó junto con la actividad eléctrica de algunos pares de músculos, su peso corporal se distribuyó mejor y se redujo el área de oscilación corporal. Sin embargo, este efecto fue inmediato y no definitivo.

Conflicto de intereses:

Ninguno declarado

Agradecimientos:

Los autores desean agradecer al Laboratorio de Biomecánica e Ingeniería de Rehabilitación del Instituto Tecnológico Metropolitano por proporcionar la infraestructura y el personal auxiliar necesarios para realizar este estudio.

Autor de correspondencia:

Natali Olaya Mira. Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas Instituto Tecnológico Metropolitano. Telephone: +574 440 5100 ext. 5266. Email: nataliolaya@itm.edu.co

Abstract

Background:

Postural stability enables humans to maintain the center of mass of their body within their base of support. Nevertheless, over time, such stability is affected by different factors such as age, repetitive strain, and accidents. Although studies in this field have investigated the effectiveness of hydrotherapy, only a few of them have explored its influence on postural stability, which is reflected in a lack of research that estimates its impact on rehabilitation.

Aim:

To determine the immediate and final effects of an aquatic routine protocol on the postural stability of elderly subjects.

Methods:

The postural stability of 20 adults over 60 years of age was analyzed using electromyographic and baropodometric methods. Electromyographic signals were obtained from the tibialis anterior, soleus, both gastrocnemius, vastus medialis, and biceps femoris to calculate the coactivation percentage of the muscles in charge of postural stability. The baropodometric data were collected to analyze the area of the stabilometric ellipse, mean plantar pressure, and weight distribution percentage.

Results:

The outcome of both methods revealed improvements in the elderly patients after the aquatic routine protocol was applied, which indicates that the type of water exercises implemented in this study has positive effects on their postural stability.

Conclusions:

The postural stability of the elderly participants was improved after each session because their stability index decreased along with the electrical activity of some muscle pairs, their body weight was better distributed, and the area of body oscillation was reduced. However, this effect was immediate and not final.

Contribución del estudio

1) ¿Por qué se realizó este estudio?

Este estudio se llevó a cabo para determinar el efecto de una rutina de ejercicios acuáticos sobre la estabilidad corporal de los ancianos mediante dos métodos diferentes: estabilometría y electromiografía.

2) ¿Cuáles fueron los resultados más relevantes del estudio?

Ambos métodos revelaron mejoras inmediatas en la estabilidad postural de los ancianos tras la aplicación del protocolo acuático de rutina.

3) ¿Qué aportan estos resultados?

Ayuda en la toma de decisiones de los fisiatras, fisioterapeutas y demás personal sanitario afín, para prescribir terapias en la población anciana. Pueden dar prioridad a aquellas actividades que impliquen ejercicios acuáticos cuando sea necesario para mejorar la estabilidad postural de esta población en los procesos de rehabilitación.

Introducción

Como resultado de mejores tratamientos para curar enfermedades y muchas otras razones, la esperanza de vida de la mayoría de las personas se ha ampliado a 60 años o más. La cantidad de personas mayores casi se duplicará en los próximos años ¹, y sufrirán afecciones como desórdenes del equilibrio, que conducen a trastornos musculoesqueléticos (TME) y son generalmente degenerativos. Esta situación plantea serios problemas para la salud pública y la calidad de vida en general ^{2,3} debido a que tales condiciones médicas aumentan significativamente el costo de los procesos de rehabilitación si no se previenen o tratan oportunamente ⁴.

Los ejercicios acuáticos han demostrado ser efectivos y eficientes para restaurar las funciones corporales a corto plazo ^{5,6} porque los movimientos son más lentos y predecibles que en el suelo, proporcionando una retroalimentación sensorial-motora, un equilibrio, una estabilidad y una coordinación más significativa y facilitando posturas como la bipedestación ⁷. Sin embargo, hasta el momento pocos estudios han examinado la influencia del agua en la estabilidad postural, y la mayoría de ellos son anecdóticos o sesgados debido a la falta de protocolos estandarizados para evaluar su impacto en la rehabilitación ⁸.

Este estudio tiene como objetivo evaluar la estabilidad postural de adultos mayores a partir de su coactivación muscular y variables baropodométricas con el fin de evaluar los efectos inmediatos y finales de la implementación de un protocolo de ejercicio acuático.

En este estudio, se emplearon dos técnicas para evaluar la estabilidad postural. En primer lugar, se midió la coactivación muscular (es decir, la contracción simultánea de los músculos agonistas y antagonistas) mediante electromiografía ⁹, y se demostró su papel en el mantenimiento de la estabilidad articular ¹⁰. En segundo lugar, se utilizó una plataforma baropodométrica para medir el área de la elipse de estabilidad, la presión plantar media y el porcentaje de distribución de peso corporal ¹¹; por tanto, se comprobó que la segunda técnica puede utilizarse para cuantificar el control postural ^{12,13}.

Materiales and Métodos

Tipo de estudio

Este fue un estudio piloto de cohorte prospectivo realizado con un solo grupo de personas mayores. Los participantes fueron reclutados del INDER Medellín, un grupo de la tercera edad activo. El protocolo se siguió en 12 sesiones de una hora durante cuatro semanas y se terminó cuando el sujeto abandonó o terminó el estudio.

Población

Ninguno de los participantes había sido diagnosticado con trastornos articulares en miembros inferiores como artrosis o artritis, heridas discales con dolor irradiado a miembros inferiores desde L3-S1, neuropatías, trastornos neurológicos (ataxia o esclerosis múltiple), problemas cerebelosos, epilepsia, vértigo, diabetes, insuficiencia venosa periférica, enfermedad renal grave, incontinencia urinaria y / o anal, heridas abiertas o amputación de miembros inferiores. Incluso después de ser seleccionados, los sujetos debían asistir a las doce sesiones para ser incluidos en este estudio. Antes de su participación voluntaria, firmaron un consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética del Instituto Tecnológico Metropolitano, que observa los principios establecidos en la Declaración de Helsinki (DoH), según lo recomendado por la Asociación Médica Mundial ¹⁴.

Protocolo de ejercicio

Este protocolo de ejercicio se siguió en una piscina deportiva de 1,63 metros de profundidad en el Instituto Tecnológico Metropolitano. La rutina de ejercicios acuáticos para miembros inferio-

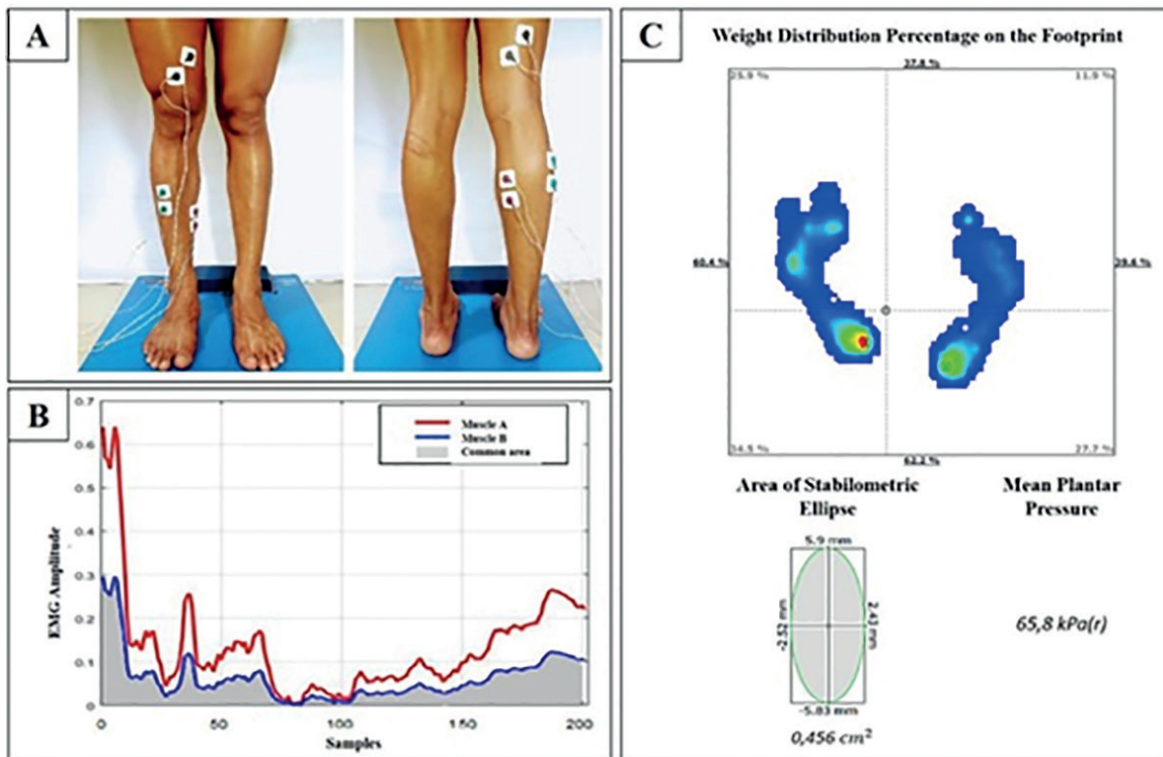


Figure 1. (A) Placement of the electrodes: front (TA, S, and FB muscles) and back (GM, GL, and VM muscles). (B) Area of the muscle coactivation percentage. (C) Baropodometric variables (weight distribution, area of the stabilometric ellipse, and mean plantar pressure).

res se centró en la estabilidad postural y se dividió en 12 sesiones de una hora durante 4 semanas. En cada una de las 4 semanas, los participantes realizaron diferentes ejercicios (al menos quince repeticiones después de los respectivos ejercicios de calentamiento), de la siguiente manera: (i) estiramiento para trabajar la movilidad y flexibilidad articular; (ii) movimientos articulares excéntricos con bipedestación para mejorar la fuerza y la propiocepción; (iii) entrenamiento de marcha sentado y escaleras monopodal en bipedestación para trabajar el equilibrio y la propiocepción; y (iv) ejercicios para identificar la posición articular (ojos abiertos / cerrados) con posición unipodal y bipodal para la coordinación, la velocidad y la funcionalidad.

Adquisición de la señal

Se utilizó la electromiografía de superficie para capturar las señales de coactivación muscular y una plataforma baropodométrica registró sus presiones plantares. Las señales se obtuvieron mientras los participantes estaban de pie sobre la plataforma durante 6 segundos antes y después del protocolo de ejercicios acuáticos para calcular todas las medidas y obtener 24 señales por sujeto.

Estabilidad medida por coactivación muscular

El porcentaje de coactivación muscular de la pierna dominante autoinformada de los sujetos se calculó mediante electromiografía de superficie (EMG) de los seis grupos musculares que están directamente implicados en la estabilidad de las extremidades inferiores: tibial anterior (TA), sóleo (S), gastrocnemio medial (GM), gastrocnemio lateral (GL), vasto interno (VM) y bíceps femoral (FB) ¹⁵ (Figura 1A).

Para la colocación de los electrodos se aplicó el protocolo del proyecto SENIAM (Por sus siglas en inglés, Electromiografía de Superficie para la Evaluación No Invasiva de Músculos) ¹⁶. Las señales se adquirieron con un amplificador diferencial ML138 conectado a un polígrafo PowerLab 16/35 fabricado por AD Instruments Inc. Se utilizó una frecuencia de muestreo de

2 kHz y la señal se preprocesó con el software LabChart Pro implementando un filtro notch de 60 Hz y otro pasa banda con una frecuencia de corte entre 10 y 500 Hz.

Se empleó Matlab para calcular el porcentaje de coactivación. Las señales obtenidas de los músculos se filtraron una vez más utilizando un filtro pasabanda Butterworth digital de quinto orden con frecuencias de corte entre 10 y 300 Hz. La raíz cuadrada media (RMS) de cada señal resultante se calculó con una ventana de 250 muestras y una superposición de 50 muestras. Finalmente, se crearon cuatro grupos de músculos (VM / BF, T / S, T / GM y T / GL) para normalizarlos utilizando la siguiente ecuación:

$$X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde X_n denota la señal normalizada; X , la señal original; y X_{min} y X_{max} los valores mínimo y máximo de la señal original, respectivamente. Posteriormente, se calculó el porcentaje de coactivación entre músculos mediante la Ecuación 2¹⁷.

$$\%COACT = 2 \times \frac{A \& B \text{ common area}}{B \text{ area} + A \text{ area}} \times 100$$

Donde % COACT es el porcentaje de coactivación entre los músculos agonista y antagonista; área A, el área bajo la curva de la señal EMG procesada del músculo A; Área B, el área bajo la curva de la señal EMG procesada del músculo B; y el área común A y B, la región de actividad compartida por los músculos A y B (Figura 1B)¹⁷. Nótese que cuando este porcentaje se acerca al 100%, la estabilidad es baja; y, cuando tiende al 0%, la estabilidad es alta^{18,19}.

Estabilidad medida por baropodometría

La plataforma de presión Ecowalk y su software EcoFoot 4.0 calcularon las variables baropodométricas en este estudio. Dicho sistema de medición comprende una plataforma portátil de 67 cm de largo y 54 cm de ancho equipada con 2.300 sensores capacitivos. Después de que los participantes se pararon en la plataforma y mantuvieron su posición anatómica estándar durante 6 segundos, se recopilaron los siguientes datos: área de la elipse establiométrica, presión plantar media y porcentaje de distribución del peso (Figura 1C). Dicha distribución se calculó como la diferencia entre la distribución anterior y posterior del peso. Asimismo, la distribución lateral resultó de restar el 50% de la distribución lateral del pie dominante porque solo se midió un pie. Las variables mencionadas anteriormente describen la estabilidad de cada participante^{11,20}.

Caracterización de los datos capturados

Se analizaron los efectos inmediatos y a largo plazo de este protocolo de ejercicio. Los primeros se estudiaron comparando cada variable antes y después de las sesiones de ejercicio; y estos últimos se establecieron comparando las mediciones antes de la primera sesión y después de la duodécima sesión. Además, se examinaron en detalle las sesiones que tuvieron una influencia significativa en las variables medidas.

Los datos se analizaron estadísticamente mediante el software SPSS (versión 24). Se utilizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia de 0,05. Algunos de los datos presentaron normalidad, sin embargo, se aplicó una prueba no paramétrica, prueba de rango con signo de Wilcoxon a todas las variables para determinar diferencias significativas entre los grupos de variables mencionados anteriormente para cada efecto del protocolo de ejercicio.

Tabla 1. Efecto inmediato del protocolo de ejercicio.

Variables	Medición		Media \pm DS	Mediana	Prueba Kolmogorov-Smirnov	Prueba de rango con signo de Wilcoxon	
					P-valor	Nivel de Significancia	Nivel de Significancia
Coactivación Muscular	Vasto Medial vs Biceps Femoral (%)	Antes	42.28 \pm 23.12	42.95	0.004	614.0	No
		Después	42.68 \pm 21.43	43.57	0.200		
	Tibial anterior vs Soleo (%)	Antes	43.25 \pm 22.78	42.28	0.005	510.0	No
		Después	41.29 \pm 24.46	42.95	0.002		
	Tibial anterior vs Gastrocnemio Medial (%)	Antes	44.07 \pm 22.62	43.65	0.002	33.0	Si
		Después	39.29 \pm 22.13	40.64	0.007		
	Tibial anterior vs Gastrocnemio Lateral (%)	Antes	44.19 \pm 24.45	47.35	0.000	224.0	No
		Después	41.39 \pm 24.89	41.30	0.003		
Estabilometría	Distribución anteroposterior del peso (%)	Antes	27.15 \pm 17.18	24.20	0.007	128.0	No
		Después	29.16 \pm 17.31	27.60	0.044		
	Distribución lateral del peso (%)	Antes	20.37 \pm 13.83	18.10	0.001	218.0	No
		Después	22.06 \pm 15.23	19.90	0.000		
	Area de la elipse (cm ²)	Antes	14.16 \pm 27.40	3.99	0.000	21.0	Si
		Después	16.52 \pm 22.79	8.40	0.000		
	Presión media (kPa)	Antes	22.71 \pm 12,07	19.25	0.000	12.0	Si
		Después	21.26 \pm 11.74	19.00	0.000		

Resultados

El muestreo de bola de nieve, una técnica no probabilística, se implementó para seleccionar, entre 42 adultos, solo 20 participantes. Como resultado, la muestra estuvo compuesta por 17 mujeres y 3 hombres de $62,5 \pm 9.2$ años. Sus datos se recopilaron entre agosto y diciembre de 2018 para medir la efectividad del protocolo de ejercicio acuático en la mejora de la estabilidad postural. Seis participantes abandonaron el estudio después de la novena sesión por motivos personales o por incompatibilidades en sus horarios. No se reportaron accidentes durante la implementación del protocolo. Los efectos inmediatos del protocolo de ejercicio se analizaron comparando cada una de las medidas antes y después de cada sesión de ejercicio. En el efecto final, se comparó la primera sesión antes de realizar el protocolo con la duodécima sesión después de realizar los ejercicios.

Efecto inmediato

En cuanto a la estabilidad por coactivación, solo los valores de T/GM exhibieron una diferencia significativa. La coactivación del tibial anterior disminuyó en comparación con la de los gastrocnemios (T/GM y T/GL), mientras que la coactivación de VM/BF y T/S aumentó ligeramente; por tanto, sólo dos de los cuatro pares de músculos presentaron una coactivación reducida (Tabla 1).

Cuando se determinó la estabilidad postural mediante baropodometría, solo el área de la elipse y la presión media presentaron diferencias significativas, siendo esta última la única que no mostró un aumento después de la aplicación del protocolo (Tabla 1). Además, el peso corporal se distribuyó mayormente en el pie derecho en el 54% de la población y en el retropié en el 86% de ellos.

Tabla 2. Efecto final del protocolo de ejercicios.

Variables	Medición		Media \pm DS	Mediana	Prueba Kolmogorov-Smirnov	Prueba de rango con signo de Wilcoxon	
					<i>P-valor</i>	Nivel de Significancia	Nivel de Significancia
Coactivación Muscular	Vasto Medial vs Biceps Femoral (%)	Antes	43.84 \pm 22.99	42.96	0.200	925.0	No
		Después	40.89 \pm 20.05	34.13	0.123		
	Tibial anterior vs Soleo (%)	Antes	44.89 \pm 21.12	37.13	0.042	221.0	No
		Después	35.14 \pm 24.44	40.40	0.200		
	Tibial anterior vs Gastrocnemio Medial (%)	Antes	33.55 \pm 19.34	30.71	0.156	433.0	No
		Después	42.28 \pm 22.39	36.11	0.052		
	Tibial anterior vs Gastrocnemio Lateral (%)	Antes	41.79 \pm 29.03	41.71	0.015	975.0	No
		Después	39.92 \pm 25.36	41.10	0.200		
Estabilometría	Distribución anteroposterior del peso (%)	Antes	33.13 \pm 20.24	24.3	0.030	221.0	No
		Después	25.94 \pm 15.28	23.9	0.200		
	Distribución lateral del peso (%)	Antes	27.53 \pm 17.31	19.7	0.034	158.0	No
		Después	19.60 \pm 16.07	14.40	0.145		
	Área de la elipse (cm ²)	Antes	3.60 \pm 6.70	1.02	0.001	8.0	Si
		Después	19.18 \pm 22.68	8.93	0.054		
	Presión media (kPa)	Antes	28.64 \pm 7.37	19.85	0.200	221.0	No
		Después	16.34 \pm 9.47	12.90	0.138		

Efecto final

La estabilidad por coactivación del par de músculos VM/BF fue la única variable que disminuyó a largo plazo, aunque no mostró diferencias significativas después de todo el protocolo de ejercicio (Tabla 2).

Como en el caso del efecto inmediato medido por baropodometría, el área de la elipse presentó una diferencia significativa. Sin embargo, la presión media no lo hizo, lo que se reflejó en una disminución en todas las variables, excepto en el área de la elipse estabilométrica (Tabla 2). Además, el peso corporal se distribuyó mayormente en el pie derecho en el 57% de la población y en el retropié en el 79% de ellos.

Discusión

La coactivación ligeramente menor de la mayoría de los músculos de la pantorrilla que se encontró en este estudio puede indicar una mejora inmediata de la estabilidad postural de los adultos mayores después de que se aplicó el protocolo de ejercicios acuáticos. Dichos músculos están directamente involucrados en la estabilidad de los miembros inferiores porque están ubicados cerca de la articulación del tobillo²¹, más cerca que el par de músculos VM/BF en el muslo, lo que no tiene influencia directa sobre la estabilidad postural de los miembros inferiores. Además, los estudios sugieren que la coactivación de los músculos T/S disminuye principalmente después de una rutina de ejercicios en el suelo²²; por tanto, el agua puede producir cambios en la activación de dicho grupo.

Sin embargo, no existe consenso en el campo para comparar los resultados de los ejercicios acuáticos con los de la terapia tradicional del equilibrio. Existe evidencia en trabajos relacionados donde muestran que no hay diferencia estadísticamente significativa entre la terapia convencional y la hidroterapia; por lo tanto, independientemente del entorno donde se realice la terapia, se puede lograr una mejora en la estabilidad postural²³. Incluso utilizando otros instrumentos de medición (por ejemplo, la escala Berg Balance y la prueba Timed Up and Go),

se ha informado que la estabilidad percibida es menor cuando la tarea se realiza en el agua en comparación con el suelo^{24,25}.

Los resultados de este estudio muestran un aumento inmediato de la distribución del peso lateral y anteroposterior, pero una ligera disminución de la presión plantar media. Este resultado puede haber expandido el área de la elipse estabilométrica, que es la variable más estrechamente relacionada con la estabilidad postural²⁶.

La coactivación final del par de músculos VM/BF se redujo, lo que sugiere una mejora general en la estabilidad postural. Esta disminución de la coactivación solo en los músculos del muslo y no en la pantorrilla podría indicar que los ejercicios de propiocepción al final del protocolo se centran más en esa zona.

Se ha demostrado que los parámetros estabilométricos medidos mediante plataformas de presión proporcionan información válida sobre la estabilidad postural²⁷. Todas las variables baropodométricas de este estudio exhibieron valores más bajos a largo plazo, excepto el área de elipse estabilométrica, lo que posiblemente se deba a que no se estableció una posición estándar para que los participantes coloquen sus pies sobre la plataforma de presión haciendo que su base de apoyo afecte dicha variable²⁸.

Este estudio tiene dos limitaciones: (a) la temperatura del agua de la piscina y la postura de los pies en la plataforma de presión no fueron estandarizados y (b) no había un grupo de control. En consecuencia, el trabajo futuro debe considerar factores como la temperatura del agua (las piscinas típicas de hidroterapia están entre 33.5 y 35.5 °C) porque este aspecto determina el comportamiento de los cuerpos de las personas mayores, ya que la transferencia de calor comienza inmediatamente después de la inmersión inicial, afectando el comportamiento muscular²⁹. Además, la base de apoyo debe medirse o normalizarse como una variable adicional relacionada con la estabilidad³⁰.

Conclusión

Una vez finalizado el protocolo de 12 sesiones, la baropodometría y la coactivación muscular mostraron mejoras, lo que indica que los ejercicios acuáticos considerados en este trabajo pueden tener efectos positivos sobre la estabilidad postural. Este protocolo puede formar parte de una estrategia de intervención óptima para prevenir caídas porque implica un entrenamiento para mejorar la fuerza y el equilibrio de los pacientes con artrosis, como afirman Martínez-Amat *et al*³¹.

References

1. Organización Mundial de la Salud. Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. Estados Unidos de América; 2015.
2. Negrín VR, Olavarría MF. Artrosis y ejercicio físico. *Rev Médica Clínica Las Condes*. 2014;25(5):805-11. doi: 10.1016/S0716-8640(14)70111-7
3. Storheim K, Zwart J. Musculoskeletal disorders and the global burden of disease study. *Ann Rheum Dis*. 2014;73(6):949-50. doi: 10.1136/annrheumdis-2014-205327
4. Giménez BS, Pulido MFJ, Trigueros CJ. Atención Primaria de Calidad. Guía de buena práctica clínica en artrosis. Madrid: International Marketing & Communications, S.A. 2008.
5. Waller B, Munukka M, Multanen J, Rantalainen T, Poyhonen T, Nieminen MT, et al. Effects of a progressive aquatic resistance exercise program on the biochemical composition and morphology of cartilage in women with mild knee osteoarthritis: protocol for a randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14:82.

doi: 10.1186/1471-2474-14-82

6. Schencking M, Otto A, Deutsch T, Sandholzer H. A comparison of Kneipp hydrotherapy with conventional physiotherapy in the treatment of osteoarthritis of the hip or knee: protocol of a prospective randomised controlled clinical trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2009;10:104. doi: 10.1186/1471-2474-10-104
7. Pazos RJM, González RA. Técnicas de hioterapia: Hidrocinesiterapia. *Fisioterapia.* 2002;24: 34-42. doi: 10.1016/S0211-5638(01)73026-X
8. Severin AC, Burkett BJ, McKean MR, Sayers MGL. Biomechanical Aspects of Aquatic Therapy: A literature review on application and methodological challenges. *J Fit Res.* 2016; 5(1): 48-62.
9. Moore IS, Jones AM, Dixon SJ. Relationship between metabolic cost and muscular coactivation across running speeds. *J Sci Med Sport.* 2014;17:671-6. doi: 10.1016/j.jsams.2013.09.014
10. Rutkowska-kucharska A, Szpala A, Jaroszczuk S. Muscle coactivation during stability exercises in rhythmic gymnastics : A two-case study. *Appl Bionics Biomech.* 2018;2018:1-8. doi: 10.1155/2018/8260402
11. Martínez-Nova A, Sánchez-Rodríguez R, Cuevas-García JC, Sánchez-Barrado E. Estudio baropodométrico de los valores de presión plantar en pies no patológicos. *Rehabilitacion.* 2007;41(4):155-60. doi: 10.1016/S0048-7120(07)75509-3
12. Yildirim T, Ersoy Y. Distribution of plantar pressure in fibromyalgia patients. *Med Sci.* 2017;6(3):398-400. doi: 10.5455/medscience.2016.05.8576
13. Seketa G, Ortiz G, Wilches C, Perdomo O, Celic L, Lackovic I, et al. Simultaneous measurement of trunk orientation and centre of pressure for postural stability evaluation. In: Lackovic I, Vasic D, editors. 6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering. Cham: Springer International Publishing; 2015. p. 363-6. doi: 10.1007/978-3-319-11128-5_91
14. Declaración de Helsinki. Investigación médica en seres humanos. The World Medical Association. 2013. Available from: <https://www.wma.net/es/que-hacemos/etica-medica/declaracion-de-helsinki/>
15. Hallal CZ, Marques NR, Vieira ER, Brunt D, Spinoso DH, Castro A, et al. Lower limb muscle coactivation levels in healthy younger and older adults during functional dual-task gait. *Motriz Rev Educ Fis.* 2013;19(3):620-6. doi: 10.1590/S1980-65742013000300013
16. Merletti R, Rau G, Disselhorst-Klug C, Stegeman DF, Hagg GM. SENIAM project. Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles. 2018. Available from: <http://www.seniam.org/>
17. Candotti CT, Loss JF, Bagatini D, Soares DP, da Rocha EK, de Oliveira AR, et al. Cocontraction and economy of triathletes and cyclists at different cadences during cycling motion. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(5):915-21. doi: 10.1016/j.jelekin.2008.04.008
18. Le P, Best TM, Khan SN, Mendel E, Marras WS. A review of methods to assess coactivation in the spine. *J Electromyogr Kinesiol.* 2017; 32:51-60. doi: 10.1016/j.jelekin.2016.12.004.
19. Le P, Aurand A, Dufour JS, Knapik GG, Best TM, Khan SN, et al. Development and testing of a moment-based coactivation index to assess complex dynamic tasks for the lumbar spine. *Clin Biomech.* 2017; 46: 23-32. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2017.05.001
20. Popovich M, Pappas IP, Nakazawa K, Keller T, Morari M, et al. Stability criterion for controlling standing in able-bodied subjects. *J Biomech.* 2000;33:1359-68. doi: 10.1016/S0021-9290(00)00123-8
21. O'Sullivan SB, Schmitz TJ. Improving functional outcomes in physical rehabilitation. Pennsylvania, United

States: F.A. Davis Company; 2016..

22. Nagai K, Yamada M, Tanaka B, Uemura K, Mori S, Aoyama T, et al. Effects of balance training on muscle coactivation during postural control in older adults: A randomized controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2012; 67(8):882-9. doi: 10.1093/gerona/glr252.
23. Cano BJ, Olaya MN, Soto CIC. Evaluación estadística de la estabilidad postural en pacientes con artrosis de rodilla por medio de la coactivación muscular. *Comunicaciones Estadística*. 2019;12(1):53-69. doi: 10.15332/23393076/5291
24. Louder T, Bressel E, Baldwin M, Dolny DG, Gordin R, Miller A. Effect of aquatic immersion on static balance. *Int J Aquat Res Educ*. 2014;8(1):53-65. doi: 10.1123/ijare.2013-0014
25. Montagna JC, Santos BC, Battistuzzo CR, Loureiro APC. Effects of aquatic physiotherapy on the improvement of balance and corporal symmetry in stroke. *Int J Clin Exp Med*. 2014;7(4):1182-7.
26. Hue O, Simoneau M, Marcotte J, Berrigan F, Doré J, Marceau P, et al. Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture*. 2007;26(1):32-8. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.07.005
27. Pizzigalli L, Filippini A, Ahmaidi S, Jullien H, Rainoldi A. Prevention of falling risk in elderly people: the relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. *J Strength Cond Res*. 2011;25(2):567-74. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d32213
28. Zequera M, Perdomo O, Wilches C, Vizcaya P. Pilot study: Assessing repeatability of the EcoWalk platform resistive pressure sensors to measure plantar pressure during barefoot standing. *J Phys Conf Ser*. 2013;450(1):012029. doi: 10.1088/1742-6596/450/1/012029
29. Ellapen TJ, Hammill H V., Swanepoel M, Strydom GL. The benefits of hydrotherapy to patients with spinal cord injuries. *Afr J Disabil*. 2018;7(0):450. doi: 10.4102/ajod.v7i0.450
30. McAndrew Young PM, Dingwell JB. Voluntary changes in step width and step length during human walking affect dynamic margins of stability. *Gait Posture*. 2012;36(2):219-24. doi: 10.1016/j.gaitpost.2012.02.020
31. Martínez-Amat A, Hita-Contreras F, Lomas-Vega R, Caballero-Martínez I, Alvarez PJ, Martínez-López E. Effects of 12-week proprioception training program on postural stability, gait, and balance in older adults: a controlled clinical trial. *J Strength Cond*. 2013;27(8):2180-8. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827da35f.