

Ejercicio de larga duración reduce la oscilación postural en adultos mayores activos

Long duration exercise decreases the body oscillations in active older adults

Alejandra María Franco-Jiménez 

*alejafj@gmail.com

Forma de citar: Franco Jiménez AM. Ejercicio de larga duración reduce la oscilación postural en adultos mayores activos. Salud UIS. 2024; 56: e24024. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.56.e:24024> 

Resumen

Introducción: en el envejecimiento los sistemas neuromuscular y somatosensorial tienen cambios que comprometen el control postural. Estos pueden ser acentuados o prematuros debido al desacondicionamiento físico y revertidos o atenuados con la práctica del ejercicio físico. **Objetivo:** analizar los efectos de dos intervenciones de larga duración, una con componentes integrados de orientación y estabilidad postural, y otra de ejercicios de musculación, en la oscilación postural de adultos mayores activos. **Metodología:** participaron 56 adultos, distribuidos en el programa de ejercicio físico para el control postural ($n = 33$; $70,2 \pm 6,48$ años) y de musculación ($n = 23$; $68,67 \pm 4,99$ años), cada uno con duración de 37 semanas, con una frecuencia semanal de 3 sesiones de 60 minutos cada una. El programa control postural desarrolló 7 componentes de entrenamiento: sistema sensorial, gimnasia postural, resistencia muscular, fuerza rápida, flexibilidad y estabilidad y orientación postural aplicada a las actividades de la vida diaria y el programa musculación 4: resistencia muscular, agilidad, coordinación y equilibrio. Se realizaron evaluaciones en tres momentos (pre-intervención, post 1 y post 2). La estabilidad fue evaluada en base bipodal estable e inestable (uso de espuma), con los ojos abiertos y vendados, utilizando una plataforma de fuerza. Variables analizadas: área, velocidad media total y *Root Mean Square* del Centro de Presión. **Resultados:** la estabilidad en base inestable tuvo mayor efecto en las 16 semanas iniciales y reducción en las siguientes 18. Fue observada disminución del área del centro de presión, velocidad media total y *Root Mean Square* en base inestable con supresión visual. Las mejoras pueden deberse a mejor procesamiento de información propioceptiva y vestibular, adaptaciones en el sistema neuromuscular y cambios en las estrategias motoras. **Conclusiones:** programas similares a los aplicados pueden disminuir los declives de la edad en adultos mayores activos, favorecer la funcionalidad e independencia y mantener la calidad de vida durante el proceso de envejecimiento.

Palabras clave: Ejercicio Físico; Equilibrio postural; Envejecimiento saludable; Calidad de vida; Actividades cotidianas; Estado funcional.

¹ Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Abstract

Introduction: In aging, the neuromuscular and somatosensory systems have changes that compromise postural control. These can be accentuated or premature due to physical deconditioning, and reversed or attenuated with the practice of physical exercise. **Objective:** to analyze the effects of two long-term interventions, one with integrated components of orientation and postural stability with another of bodybuilding exercises, on the postural oscillation of active older adults. **Methodology:** 56 adults participated, distributed in the physical exercise program for postural control ($n = 33$, 70.2 ± 6.48 years) and bodybuilding ($n = 23$, 68.67 ± 4.99 years), each with a duration of 37 weeks, with a weekly frequency of 3 sessions of 60 minutes each. The postural control program developed 7 training components: sensory system, postural gymnastics, muscular resistance, rapid strength, flexibility and stability and postural orientation applied to activities of daily living and bodybuilding program 4: muscular resistance, agility, coordination and balance. Evaluations were carried out at three moments (pre-intervention, post 1 and post 2). Stability was evaluated in a stable and unstable bipodal base (use of foam), with eyes open and blindfolded, using a force platform. Variables analyzed: area, total average velocity and root mean square of the center of pressure. **Results:** Stability on an unstable base had a greater effect in the initial 16 weeks and a reduction in the following 18. A decrease in the area of the center of pressure, total average velocity and Room Mean Square was observed on an unstable base with visual suppression. The improvements may be due to better processing of proprioceptive and vestibular information, adaptations in the neuromuscular system, and changes in motor strategies. **Conclusions:** Programs similar to those applied can reduce age declines in active older adults, promote functionality and independence, and maintain quality of life during the aging process.

Keywords: Exercise; Postural balance; Healthy aging; Quality of life; Activities of daily living; Functional status.

Introducción

El proceso de envejecimiento, asociado a la inactividad física, conduce a déficits funcionales en los sistemas esqueléticos, musculares, neuronales y sensoriales que contribuyen al control postural¹⁻³. Tales cambios afectan la capacidad funcional (disminución de la fuerza, flexibilidad, coordinación, agilidad, etc.), principalmente a partir de los 50 años⁴. Como resultado, un aumento en la incapacidad para mantener el equilibrio y la orientación postural (OP), disminución de la independencia y posible aumento de la frecuencia de caídas⁵.

La estabilidad postural (EP) ha sido medida en condiciones estáticas, diferentes posiciones de los pies, sobre superficies estables e inestables, con y sin restricción visual^{6,7}. Low et al.⁵ mostraron en una revisión sistemática que la posición bípeda en condición de ojos cerrados es la medida de resultado primaria más utilizada en investigaciones proyectadas para evaluar los efectos de los programas de ejercicio físico en el control postural. Es la más desafiante en adultos mayores y permite inferir posibles mejoras en las funciones neuromusculares y sensoriomotoras.

En esta línea, son importantes los programas de ejercicio físico que permitan revertir, retrasar o atenuar el deterioro de los sistemas involucrados en el control postural^{8,9}.

El ejercicio físico facilita las adaptaciones fisiológicas para preservar y mejorar la capacidad funcional, neuromotora y coordinativa^{10,11}. Específicamente para el control postural, los programas de ejercicio físico para adultos mayores han demostrado mejoras en los límites de estabilidad¹², en el equilibrio uni y bípedal con diferentes apoyos y restricciones visuales², mejora en la funcionalidad de la marcha^{3,13} aumento de la fuerza muscular del tronco¹⁴ y disminución de la oscilación del centro de presión (CoP)^{13,15-17}.

Los estudios que han investigado los efectos del ejercicio físico a largo plazo (> 20 semanas) sobre el control postural son escasos, especialmente en adultos mayores activos^{12,14,16}. Particularmente, no han detallado la progresión y aplicación de la carga como uno de los principios fundamentales del entrenamiento físico^{18,19}. Esta precisión permitiría comprender las adaptaciones individuales al entrenamiento, por lo tanto, son necesarios el diseño y desarrollo de intervenciones de larga duración que apliquen y detallen la materialización de los principios de entrenamiento físico en un programa de control postural^{5,20}. Para llenar dicho vacío, este estudio examinó los efectos de dos intervenciones de larga duración, una con componentes integrados de OP y EP con otra de ejercicio de musculación, en la oscilación postural de adultos mayores físicamente activos.

Metodología

Participantes

Participaron adultos mayores del Programa de Atividade Física para Terceira Idade (PROFIT) de la Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro/SP-Brasil. Fueron excluidos sujetos con i) edad ≤ 60 años; ii) presencia de desorden neurológico no controlado, diabetes o hipertensión arterial; iii) problemas musculoesqueléticos que afectarían la participación en el programa; iv) participación en programas de actividad física planificada y para el control postural en los últimos 12 meses; v) inasistencia al 30 % o más de las sesiones de intervención.

Inicialmente, se informó a los participantes sobre los objetivos y los posibles riesgos e incomodidades asociados con el protocolo experimental. Todos los individuos firmaron un consentimiento informado. El Comité de Ética en Investigación del Instituto de Biociencias de la citada Universidad aprobó los procedimientos del presente estudio-protocolo CEP/IB número 1 336 809.

La distribución de los participantes del grupo se realizó por conveniencia y se aplicó el principio ecológico, cuando sus grupos de ejercicio originales fueron constituidos. Para el reclutamiento de los participantes, se aplicó una anamnesis a 85 adultos mayores interesados en participar de la investigación y fueron excluidos 15 por condiciones musculoesqueléticas. En la muestra inicial del estudio se integraron 72 adultos mayores, 38 para componer el grupo del programa de ejercicio físico para el control postural (PCP) y 34 para el grupo del programa de ejercicio de musculación (PEM). Al final de la intervención y evaluaciones, 56 adultos mayores completaron los programas (PCP, $n = 33$, edad = $70,2 \pm 6,48$ y PCM, $n = 23$, edad = $68,67 \pm 4,99$).

Evaluaciones

Las medidas antropométricas de peso y talla se evaluaron de acuerdo con los protocolos de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK). El nivel de actividad física se evaluó mediante el Cuestionario de Baecke Modificado para adultos mayores²¹.

La EP, fue evaluada a través de la oscilación del CoP, se midió con una plataforma de fuerza de 50 x 50 centímetros (cm) (AccuGait, Advanced Mechanical Technologies, Boston, MA) a 200 Hertz (Hz). Los participantes realizaron tres ensayos de 30 segundos (s) para cada condición experimental: base estable (BE)

con los ojos abiertos (OA), BE con los ojos vendados (OV), base inestable (BI) con OA y BI con OV. Los ensayos con los participantes fueron realizados con los pies descalzos a la distancia de las caderas. La posición de los pies se estandarizó por ensayo y momento de evaluación. Para las condiciones de OA, se instruyó a los participantes para que mantuvieran la mirada dirigida a un objetivo colocado a 1,1 metros (m) y al nivel de los ojos. En la condición OV, se instruyó a los participantes para que mantuvieran la cabeza alineada con el tronco. Fue utilizada una espuma (Balance-pad Airex 50 cm \times 41 cm \times 6 cm) sobre plataforma de fuerza para las condiciones de base inestable.

La señal analógica de las fuerzas de reacción del suelo en las direcciones mediolateral y anteroposterior se envió a través de la plataforma de fuerza a un convertidor digital. Las señales se filtraron con un filtro Butterworth de 4^a orden y un paso bajo de 16 Hz. El procesamiento de datos y el cálculo de variables se realizaron mediante un algoritmo escrito en Matlab (versión 2015, Math Works, Inc.). Las variables del CoP analizadas fueron área (cm²), velocidad total media (VMT-cm/s) y *Root Mean Square* en las direcciones antero-posterior (RMS_ap) y mediolateral (RMS_ml).

Las evaluaciones se realizaron en un solo día en tres momentos: pre-intervención (pre) en la semana 0; post test 1 entre la semana 17 y 19; y post test 2 en la semana 38.

Intervenciones de ejercicio físico

Se desarrollaron dos intervenciones de ejercicio físico: programa de control postural (PCP) y programa de ejercicios de musculación (PEM). Ambas intervenciones se desarrollaron 3 veces por semana (no consecutivas en PCP y consecutivas en PEM), 60 min por sesión. Cada sesión se organizó en 10 minutos de calentamiento, 40 minutos de ejercicios que favorecieran las adaptaciones y 10 minutos de enfriamiento. Se adoptaron los parámetros de entrenamiento para la población adulta mayor propuestos por el American College of Sports Medicine (ACSM)²² entre los que se destacan los principios de individualidad, sobrecarga, adaptación, continuidad, reversibilidad, unidad entre generalidad, especificidad y variabilidad. Todas las sesiones fueron conducidas por un profesional de educación física, excepto en el período 2, cuando todos los participantes asistieron a las evaluaciones y realizaron un programa domiciliar de ejercicios de control postural utilizando una guía diseñada para este estudio y controlada por llamadas telefónicas.

Programa de ejercicio físico para el control postural (PCP)

El objetivo general del programa fue generar adaptaciones crónicas que permitan la mejora o mantenimiento de la OP, EP y funcionalidad. El programa enfatizó siete componentes de entrenamiento: i) sistema sensorial, ii) fuerza rápida, iii) EP aplicada a las actividades de la vida diaria (enfoque en la EP), iv) flexibilidad, v) resistencia muscular, vi) gimnasia postural, y vii) orientación postural aplicada a las actividades de la vida diaria (enfoque en la OP). Se elaboró un macrociclo con tres períodos (período 1: enfoque en OP, período 2: mantenimiento de adaptaciones, período 3: enfoque en EP) y se detalló en 9 mesociclos y 37 microciclos. El volumen total de trabajo de 37 semanas fue de 3841,9 minutos, divididos en 1993,5 minutos para EP y 1848,4 para OP. Los componentes de OP iniciaron con una carga del 70 % del total de minutos del mesociclo 1 y redujeron hasta el 30 % del total de minutos hasta el mesociclo 9; los componentes EP iniciaron con una carga del 30 % del total de minutos totales del mesociclo 1 y aumentaron al 70 % del total de minutos hasta el mesociclo 9. En el periodo 2, el volumen de carga fue igual (50 %) para OP y EP en función de mantener los logros obtenidos hasta el momento y para realizar la segunda evaluación (post 1, semana 17-19).

La intensidad de la EP fue controlada por la complejidad de los ejercicios para el sistema sensorial (restricciones visuales, movimientos de cabeza, ejercicios sobre bases blandas o inestables, trabajo con y sin elementos, con y sin ayuda y diversas instrucciones para mejorar la ejecución de los movimientos), se desarrollaron estímulos para cada sistema (visual, vestibular y somatosensorial) por separado entre los mesociclos 1 y 5, e integrados, entre los mesociclos 6 y 9 (por ejemplo, visual con propiocepción). La intensidad de la fuerza rápida y OP se controló mediante la Escala de Percepción del Esfuerzo "Omni-Res" (EPE). La fuerza rápida utilizó la escala 5-8 entre los mesociclos 6 y 8. La OP en el componente de resistencia muscular para el mesociclo 1 y 2 trabajó con las escalas 2 -3; mesociclo 3: en 3-4; mesociclo 4 y 5: en 4-5; para mesociclo 6 y 7: en 4-6; mesociclo 7 y 8: en 5-7, flexibilidad a través de métodos pasivos (mesociclo 1-4), activos (mesociclo 5) y estáticos (mesociclo 6-8), la Gimnasia Postural adoptó elementos de los métodos de Pilates y Isostretchig y fue controlada por la duración de las pausas entre ejercicios (densidad) y por la complejidad de los ejercicios (complejidad de posturas corporales mesociclos 1-9). La intensidad de la EP y OP aplicada a las actividades de la vida diaria (mesociclo 9) fue controlada por la complejidad de los

ejercicios (énfasis en la concientización de la tarea) y aumentó semanalmente.

Programa de ejercicios de resistencia (PEM)

El PEM desarrolló cinco componentes de la capacidad funcional: i) resistencia muscular (tronco, miembros superiores e inferiores), ii) flexibilidad, iii) agilidad, iv) coordinación y v) equilibrio. Se elaboró un macrociclo con 3 períodos (períodos 1 y 3 de acondicionamiento físico general, período 2 segunda evaluación), 7 mesociclos y 37 microciclos. El mesociclo 1 tuvo actividades introductorias para el aprendizaje de la técnica de los ejercicios, manejo de la EPE y sensibilización con el nivel de fatiga. Los mesociclos 2 al 7 tuvieron las siguientes características: 2 a 3 series de 8-15 repeticiones por ejercicio; intervalo de recuperación entre series igual o inferior a 1 minuto, en general, y de 1 a 2 minutos entre ejercicios; de 8 a 9 ejercicios uni o multiarticulares por sesión, incluidos los grupos musculares pequeños y grandes utilizados para las actividades de la vida diaria.

El volumen total de trabajo de 37 semanas fue de 3840 minutos, distribuida en 2560 minutos para resistencia muscular y 1280 minutos de trabajo funcional. Tuvo una frecuencia de tres días a la semana (consecutivos); la sesión 1 desarrolló ejercicios de musculación para la cadena flexora, la sesión 3 para la cadena extensora (dos ejercicios para los miembros superiores, tres para los miembros inferiores y cinco para el tronco); y la sesión 2 para ejercicios o actividades lúdicas (estimulación de la flexibilidad, agilidad, coordinación y/o equilibrio). Cada sesión tuvo la misma distribución que el PCP. Se controló la intensidad mediante la EPE para los componentes de resistencia muscular entre las escalas 2 y 8 (mesociclo 1: en 2 - 4; mesociclo 2: en 4 - 5; mesociclo 3 y 4: en 5 - 6; mesociclo 5 y 6: en 6 - 7; mesociclo 7: en 6 - 8) y para las actividades funcionales, la intensidad se orientó según la complejidad de ejecución de los ejercicios.

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado separadamente para base de soporte estable y base inestable. Las variables analizadas fueron área, RMS_ap, RMS_ml e VMT del CoP. En el análisis fue considerada la media de las tres tentativas de cada condición. Fue realizada una transformación logarítmica a los datos brutos para cada momento de evaluación y posteriormente calculados tres deltas (Δ) (Δ^1 = post 1 - pre, Δ^2 = post 2 - post 1, Δ^3 = post 2 - pre) correspondientes a las diferencias entre los momentos de evaluación. El test de Levene

fue aplicado para identificar la homogeneidad de las varianzas de estos deltas, presentando todas las variables homogeneidad. Un MANOVA de 2 x 2 x 3 (grupo, visión y momento) con medidas repetidas para los últimos factores visión y momento fue utilizada para cada situación de base. Se utilizaron las pruebas post hoc de Tuckey con correcciones de Bonferroni cuando se revelaron interacciones entre factores. El eta cuadrado parcial proporcionó estimaciones de los tamaños del efecto (eta-cuadrado η^2 : 0,01=pequeño, 0,06=moderado, 0,14=grande)²³. Después de realizar los MANOVA, se utilizó un análisis de prueba t de Student para una muestra para identificar las diferencias significativas de los tres deltas (Δ^1 = post 1 - pre, Δ^2 = post 2 - post 1, Δ^3 = post 2 - pre) correspondientes a las diferencias entre los momentos de intervención, comparados con ningún cambio (cero). Se utilizó la prueba t de Student para la variable primaria: área del CoP. Se utilizó el software SPSS (versión 22.0) y el nivel de significancia se fijó en 5 %.

Resultados

La **Tabla 1** presenta los datos descriptivos para las variables del centro de presión del programa de ejercicio físico para el control postural y programa de ejercicio físico de musculación; en base de apoyo estable y con espuma; en la condición de visión con ojos abiertos y ojos vendados; para los momentos pre-intervención, post test 1 y post test 2 (**Tabla 1**).

Los resultados, mostraron efectos en la condición de visión y momento en BI en todas las variables, principalmente entre los momentos pre y post 1 (Δ^1) y entre pre y post 2 (Δ^3). Ello puede indicar que una intervención de 37 semanas de entrenamiento con PCP o PEM genera adaptaciones con efectos beneficiosos para la EP de adultos mayores activos, las cuales pueden estar representadas en mejoras sensoriales, neuronales, neuromusculares y motoras.

Tabla 1. Promedio \pm SE del CoP para base estable y base inestable.

Base estable							
		PCP = 33			PEM = 23		
Variable	Visión	Pre	Post 1	Post 2	Pre	Post 1	Post 2
Área (cm ²)	OA	0,63 \pm 0,56	0,89 \pm 0,94	0,68 \pm 0,52	0,79 \pm 1,11	0,75 \pm 0,58	0,71 \pm 0,51
	VO	1,15 \pm 1,62	1,45 \pm 1,94	1,05 \pm 0,69	1,50 \pm 1,96	1,36 \pm 1,23	1,20 \pm 1,02
RMS_ml (cm)	OA	0,13 \pm 0,07	0,15 \pm 0,10	0,13 \pm 0,06	0,12 \pm 0,07	0,13 \pm 0,06	0,13 \pm 0,05
	VO	0,15 \pm 0,11	0,16 \pm 0,11	0,14 \pm 0,05	0,15 \pm 0,08	0,16 \pm 0,09	0,15 \pm 0,08
RMS_ap (cm)	OA	0,25 \pm 0,07	0,28 \pm 0,10	0,27 \pm 0,09	0,28 \pm 0,17	0,30 \pm 0,10	0,29 \pm 0,10
	VO	0,39 \pm 0,15	0,39 \pm 0,16	0,38 \pm 0,14	0,43 \pm 0,26	0,43 \pm 0,16	0,41 \pm 0,15
VMT (cm/s)	OA	0,75 \pm 0,22	0,81 \pm 0,23	0,79 \pm 0,25	0,78 \pm 0,28	0,81 \pm 0,21	0,81 \pm 0,25
	VO	1,02 \pm 0,39	1,09 \pm 0,41	1,11 \pm 0,44	1,23 \pm 0,60	1,16 \pm 0,43	1,14 \pm 0,43
Base inestable							
Área (cm ²)	OA	4,03 \pm 1,78	4,23 \pm 2,10	3,97 \pm 1,89	4,89 \pm 4,68	4,62 \pm 3,32	4,37 \pm 2,25
	VO	18,53 \pm 10,55	14,06 \pm 5,98	17,32 \pm 8,47	26,45 \pm 16,52	18,91 \pm 10,55	22,99 \pm 11,87
RMS_ml (cm)	OA	0,45 \pm 0,12	0,43 \pm 0,12	0,44 \pm 0,13	0,44 \pm 0,15	0,45 \pm 0,12	0,44 \pm 0,10
	VO	0,89 \pm 0,28	0,72 \pm 0,19	0,81 \pm 0,21	1,00 \pm 0,29	0,82 \pm 0,23	0,94 \pm 0,23
RMS_ap (cm)	OA	0,47 \pm 0,08	0,50 \pm 0,12	0,48 \pm 0,10	0,53 \pm 0,31	0,53 \pm 0,24	0,52 \pm 0,16
	VO	1,09 \pm 0,28	1,02 \pm 0,19	1,10 \pm 0,26	1,34 \pm 0,44	1,19 \pm 0,30	1,27 \pm 0,29
VMT (cm/s)	OA	1,70 \pm 0,38	1,81 \pm 0,41	1,72 \pm 0,42	1,69 \pm 0,58	1,70 \pm 0,42	1,79 \pm 0,42
	VO	3,69 \pm 1,14	3,60 \pm 1,05	3,94 \pm 1,25	4,26 \pm 1,33	3,84 \pm 1,04	4,61 \pm 1,56

PCP: Programa de Ejercicio Físico para el Control Postural. PEM: Programa de Ejercicio de Musculación. OA: ojos abiertos. OV: ojos vendados. RMS_ap: *Root Mean Square* anteroposterior. RMS_ml: *Root Mean Square* Medio lateral. VMT: Velocidad Media Total. cm: centímetros. s: segundos. Fuente: elaboración propia.

En la EP en BI se encontraron diferencias en la información visual por momento, siendo significativas para OV en comparación con OA. Hubo una disminución del área y del RMS (ap y ml) y VMT del CoP con la supresión de información visual después de la intervención. Los cambios fueron más acentuados en las primeras 12 semanas. En cuanto a EP en BE, se observaron resultados inesperados. Se encontraron diferencias en la información visual por momento, siendo significativas principalmente para la condición de OA en comparación con OV. Los resultados mostraron un aumento del RMS (ap) con OA del momento pre en comparación con el post 2, y no significativo en las otras variables. Los resultados de EP en BI se encontraron entre los momentos pre y post 1 y pre y post 2.

Específicamente, en la BE el MANOVA señaló interacción entre momento*visión en las condiciones de OA y OV (Wilks Lambda = 0,78; $F_{(8,47)} = 69,11$; $p < 0,001$). Los análisis univariados revelaron para el RMS_ap del CoP interacción entre momento*visión ($F_{(2,108)} = 0,39$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,87$) con diferencias

entre las condiciones OA y OV en Δ^1 ($p < 0,001$ -IC95 % [-1,57, -1.28]) y en Δ^3 ($p < 0,001$ -IC95 % [0,94, 1,14]). En BI, el MANOVA mostró interacción entre momento*visión en las condiciones de OA y OV para BI (Wilks Lambda = 0,54; $F_{(8,47)} = 4,91$; $p < 0,001$). Los análisis univariados revelaron interacción entre momento*visión para: área del CoP ($F_{(2,108)} = 15,46$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,22$) y VMT ($F_{(2,108)} = 19,35$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,26$) con diferencias entre las condiciones de visión en Δ^1 ($p < 0,001$ - IC del 95 % [0,12, 0,38]; $p = 0,002$ - IC95 % [0,04, 0,16] respectivamente) y en Δ^2 ($p = 0,003$ - IC95 % [-0,32, -0,06]; $p < 0,001$ - IC95 % [-0,17, -0,07] respectivamente), y para el RMS_ml del CoP ($F_{(2,108)} = 19,18$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,26$) y RMS_ap del CoP ($F_{(2,108)} = 5,90$; $p = 0,004$; $\eta^2 = 0,09$) con diferencias entre condiciones de visión en Δ^1 ($p < 0,001$ -IC95 % [0,10, 0,25]; $p = 0,01$ -IC95% [0,02, 0,18] respectivamente) y en Δ^3 para el RMS_ml del CoP ($p = 0,002$ -IC95 % [-0,20, -0,04]). Pruebas post hoc revelaron interacción momento*visión entre las condiciones OA y OV (Figura 1).

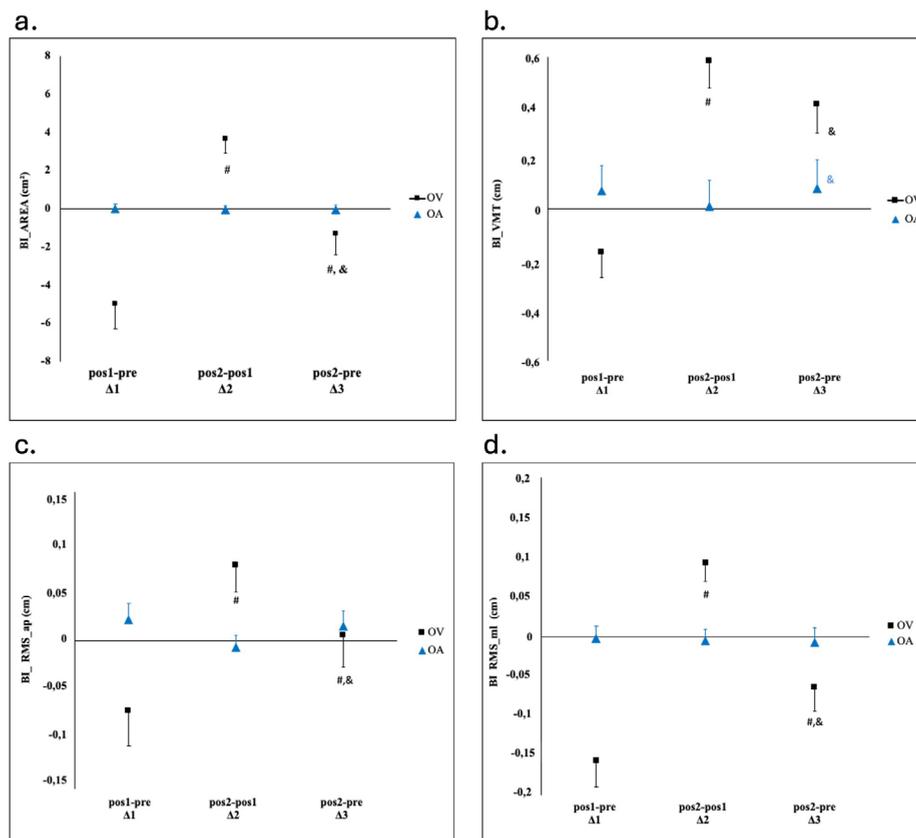


Figura 1. Promedio ± SE del Área, Velocidad Media Total - VMT, *Root Mean Square* anteroposterior y medio lateral - RMS_ap, RMS_ml del CoP en base inestable en la interacción entre las condiciones de ojos abiertos y vendados en Δ^1 , Δ^2 y Δ^3 . OA: ojos abiertos. OV: ojos vendados. # significancia en relación con Δ^1 . & Significancia en relación con Δ^2 . Fuente: elaboración propia.

El análisis t de Student de una muestra para el área del CoP en BI indicó que el entrenamiento promovió un cambio significativo en el Δ entre los momentos pre y post1 en la condición OV ($t_{(55)} = -3.83; p < 0.001$) y en el Δ entre los momentos post 1 y post 2 en la condición OV ($t_{(55)} = 4.40; p < 0.001$) en comparación con no tener ningún cambio.

Discusión

El objetivo del estudio fue analizar los efectos de dos intervenciones de larga duración, una con componentes integrados de OP y EP con otra de ejercicios de musculación, en la oscilación postural de adultos mayores activos. Se desarrollaron dos programas de ejercicio físico: control postural (PCP) y musculación (PEM). Se hallaron efectos en la condición de visión y momento en BI en todas las variables y principalmente entre los momentos pre y post 1 y pre y post 2. La disminución del área y del RMS (ap y ml) y VMT del CoP con la supresión de información visual después de la intervención es consistente con otros estudios. Un metaanálisis⁵ encontró mejoras sensoriales, neuronales, neuromusculares y motoras, asociadas con la disminución del área, la variabilidad y la velocidad del CoP.

Las intervenciones PEP y PEM pueden promover mejoras en los sistemas propioceptivo y vestibular. Los componentes abordados favorecen la integración de las aferencias sensoriales con el uso adecuado de las informaciones propioceptivas (como la posición del tobillo sobre una base inestable y la sensibilidad cutánea)^{24,25} y vestibulares (como el movimiento de la cabeza e inclinación del tronco para el frente), que son menos sensibles cuando la disfunción está instalada²⁶. Otros estudios, también han reportado cambios en la estabilidad con programas de hasta 16 semanas²⁷. Se encontraron disminuciones en el área (con BI y OA y ojos cerrados), RMS_ap de la CoP (sin perturbación), velocidad y amplitud anteroposterior del CoP (con perturbación)^{15,17,28}.

Intervenciones similares a PCP y PEM han mostrado evidencias de que las mejoras neuronales y neuromusculares generan cambios positivos en la estabilidad^{2,16,20,29}. Además, los resultados permiten inferir que el ejercicio físico mejora la eficiencia en el sistema nervioso central y periférico y disminuye los efectos inhibitorios de los reflejos, mejor organización de las unidades motoras, aumento de la fuerza de los miembros inferiores y de la función y sinergias musculares³⁰. En conjunto, los hallazgos de la presente

investigación en BI pueden atribuirse a mejoras sensoriales, neuromusculares y motoras⁵.

Las respuestas reflejas y propioceptivas y la retroalimentación (*feedback*) de las estrategias neuromusculares para los ajustes posturales (como disminución del área y velocidad del CoP y la mejora de la fuerza y la flexibilidad) se pueden lograr mediante protocolos de intervención a largo y corto plazo con estimulación sensoriomotora para la estabilidad, la fuerza y la flexibilidad^{2,16}. Por lo tanto, los programas de ejercicios que promuevan la fuerza y la estimulación propioceptiva en condiciones estáticas y dinámicas, independientemente de la modalidad de ejercicio, pueden mejorar la EP. Como se observa en estudios previos y en los programas PCP y PEM entre los momentos pre y post 1 (Δ^1), podemos concluir que 12 semanas ya son suficientes para generar adaptaciones relevantes (disminución del área y velocidad del CoP)¹⁷.

Conforme a las intervenciones de PCP y PEM, Penzer et al.²⁹ aplicaron en adultos mayores dos programas de ejercicio que combinaban fuerza y equilibrio y observaron una disminución tanto en la amplitud y velocidad anteroposterior del CoP como en la actividad electromiográfica de los flexores plantares sobre una superficie inestable, sin diferencias entre los grupos. Los autores atribuyen la reducción de la actividad electromiográfica de los músculos plantares, a las alteraciones neuronales y a las mejoras del equilibrio por las características de los programas (intensidad, duración y frecuencia del ejercicio). Estos resultados, junto con los de PCP y PEM, permiten inferir que programas de ejercicios combinando resistencia muscular con estimulación sensorial o actividades funcionales pueden ser efectivos para generar cambios neuronales y mejoras en la estabilidad.

Aunque no fue evaluada la actividad muscular y la estabilidad cinemática, la reutilización de estrategias de cadera y tobillo para mantener la EP³¹ puede estar asociada con una disminución del RMS antero-posterior y mediolateral. Este argumento es consistente con los resultados de Ni et al.²⁸, sobre la disminución del área del CoP y los desplazamientos lineales, y los resultados de Brachman et al.³², sobre como la adopción de una posible postura flexionada, similar a la estrategia de cadera es indicador de protección de caída hacia atrás y mejora funcional. Ambos resultados pueden ser una señal de que adultos mayores desarrollan la capacidad de usar y cambiar las estrategias motoras para controlar la postura bajo perturbación. Además, los ejercicios que requieren ajustes posturales mejoraron la EP y, por tanto,

el desempeño de tareas funcionales y de las actividades de la vida diaria. Sin embargo, estas inferencias deben hacerse con cautela, ya que no fue evaluada la cinemática del tobillo, la fuerza y la actividad muscular de los miembros inferiores.

A diferencia de otros estudios con estímulos similares como PCP y PEM^{15,32,33} resultados del presente estudio muestran un aumento de las oscilaciones de CoP en BE con las intervenciones. Grandes oscilaciones son indicador de ineficiencia postural y peor uso de la información somatosensorial para corregir las oscilaciones habituales⁵. No obstante, este no puede ser el caso. Los recursos de la muestra e intervención pueden cambiar ese escenario. Los participantes eran físicamente activos con bajos valores medios de oscilación de CoP en base estable para la edad de base (OA = 0,25 cm y OV = 0,39 cm), mientras que las intervenciones incluyeron un gran volumen de ejercicios dinámicos. Estas características permiten el aumento de las oscilaciones del CoP sin llegar a niveles de ineficiencia del control postural.

Aunque este estudio ofrece la oportunidad de comprender los efectos de PCP y PEM en el control postural de adultos mayores activos, se deben destacar algunas limitaciones. El pequeño tamaño de la muestra, la formación de los grupos de conveniencia y la inexistencia de un grupo de control, restringiendo la validez externa de este estudio. Alternativamente, las significancias estadísticas observadas revelan la efectividad de los programas de ejercicio. De esta forma los datos deben interpretarse con cautela, necesitándose más evidencia de ensayos clínicos controlados que incluyan evaluaciones de fuerza y actividad muscular de miembros inferiores y un período de seguimiento post-entrenamiento de 6 a 12 meses.

A pesar de las limitaciones, este estudio contribuye a los avances científicos en el área de la actividad física y la salud. Adicionalmente, el enfoque de larga duración de estos programas fue eficaz para mantener la participación en el ejercicio (adherencia y aumento del nivel de actividad física), lo que puede facilitar cambios de comportamiento sedentario con el envejecimiento y coincide con las recomendaciones y propósitos de la OMS para población mayor^{10,22}.

Conclusiones

Los programas de ejercicio físico PCP y PEM promovieron mejoras en la estabilidad, representadas

por la disminución de la oscilación postural, específicamente cambios en el área y RMS (ap y ml) del CoP en condiciones de inestabilidad y supresión visual (BI con OV). Tales mejoras están asociadas al procesamiento de la información propioceptiva y vestibular, adaptaciones en el sistema neuromuscular y posible reutilización de estrategias motoras. Programas de larga duración basados en los principios del entrenamiento físico y con características similares a los de PCP y PEM pueden disminuir el declive de la edad en adultos mayores activos y mantener la calidad de vida durante el proceso de envejecimiento, también pueden ser adaptados y aplicados en entornos de rehabilitación.

Contribución de autores

AMFJ Diseño del estudio, recolección y análisis de datos, redacción del artículo.

Agradecimientos

Agradezco a todos los participantes en este estudio, miembros de PROFIT y miembros del Laboratorio de Estudos da Postura de da Locomoção – LEPLO de la UNESP. Agradecimiento especial a la profesora y orientadora Lilian Teresa Bucken Gobbi, Q.E.P.D.

Consideraciones éticas

El protocolo de investigación cumple con la Declaración de Helsinki, fue aprobado y avalado por el *Comitê de Ética Local de Estudos Humanos do Instituto de Biociências* de la Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho - UNESP” (Protocolo N° 1.336.809). Todos los participantes firmaron el consentimiento informado.

Conflicto de interés

Ningún conflicto de interés con personas o instituciones relacionadas con los resultados presentados en este trabajo.

Financiación

Apoyo financiero de la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado – AUIP y Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Los financiadores no intervinieron en el diseño del estudio, la recogida y el análisis de datos, la decisión de publicar o la preparación del manuscrito.

Apoyo tecnológico de IA

No fue utilizada inteligencia artificial, modelos de lenguaje, machine learning, o tecnologías similares, como ayuda en la creación de este artículo.

Referencias

1. Wu R, Ditroilo M, Delahunt E, De Vito G. Age related changes in motor function (II). Decline in motor performance outcomes. *Int. J Sports Med.* 2021; 42(03): 215-226. doi: [10.1055/a-1265-7073](https://doi.org/10.1055/a-1265-7073)
2. De Oliveira MR, Da Silva RA, Dascal JB, Teixeira DC. Effect of different types of exercise on postural balance in elderly women: a randomized controlled trial. *Arch Gerontol Geriatr.* 2014; 59: 506-514. doi: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012424.pub2>
3. Avelar BP, De Almeida Costa JN, Safons MP, Dutra MT, Bottaro M, Gobbi S, et al. Balance Exercises Circuit improves muscle strength, balance, and functional performance in older women. *Age.* 2016; 38: 14. doi: <https://doi.org/10.1007/s11357-016-9872-7>
4. De Jaeger C. Fisiología del envejecimiento. *EMC-Kinesi Med Física.* 2018; 39(2): 1-12. doi: [https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(18\)89822-X](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(18)89822-X)
5. Low DC, Walsh GS, Arkesteijn M. Effectiveness of exercise interventions to improve postural control in older adults: a systematic review and meta-analyses of centre of pressure measurements. *Sports Med.* 2017; 47: 101-112. doi: <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0559-0>
6. Duarte M, Freitas SM. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Braz J Phys Ther.* 2010; 14: 183-192. doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552010000300003>
7. Hsiao D, Belur P, Myers PS, Earhart GM, Rawson KS. The impact of age, surface characteristics, and dual-tasking on postural sway. *Arch Gerontol Geriatr.* 2020; 87: 103973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.103973>
8. Suárez-Landazábal O, Parody-Muñoz AE. Prevalencia de caídas y factores de riesgo intrínsecos en personas adultas mayores. Barranquilla (Atlántico), Colombia. *Salud UIS.* 2023; 55: e23011. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.55.e:23011>
9. Zhuang J, Huang L, Wu Y, Zhang Y. The effectiveness of a combined exercise intervention on physical fitness factors related to falls in community-dwelling older adults. *Clin Interv Aging.* 2014; 9: 131. doi: <https://doi.org/10.2147/CIA.S56682>
10. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43: 1334-1359. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
11. Correa Bautista JE, Gámez Martínez ER, Ibáñez Pinilla M, Rodríguez Daza KD. Aptitud física en mujeres adultas mayores vinculadas a un programa de envejecimiento activo. *Salud UIS.* 2011; 43(3): 263-269.
12. Li F. The effects of Tai Ji Quan training on limits of stability in older adults. *Clin Interv Aging.* 2014; 9: 1261. doi: <https://doi.org/10.2147/CIA.S65823>
13. Nicholson VP, McKean MR, Burkett BJ. Twelve weeks of BodyBalance® training improved balance and functional task performance in middle-aged and older adults. *Clin Interv Aging.* 2014; 9: 1895. doi: <https://doi.org/10.2147/CIA.S71769>
14. Holviala J, Häkkinen A, Alen M, Sallinen J, Kraemer W, Häkkinen K. Effects of prolonged and maintenance strength training on force production, walking, and balance in aging women and men. *Scand J Med Sci Sports.* 2014; 24(1): 224-233. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01470.x>
15. Casonatto J, Yamacita CM. Pilates exercise and postural balance in older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Complement Ther Med.* 2020; 48: 102232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.102232>
16. Seco J, Abecia LC, Echevarría E, Barbero I, Torres-Unda J, Rodríguez V, et al. A long-term physical activity training program increases strength and flexibility, and improves balance in older adults. *Rehabil Nurs.* 2013; 38: 37-47. doi: <https://doi.org/10.1002/rnj.64>
17. Pirouzi S, Motealleh AR, Fallahzadeh F, Fallahzadeh MA. Effectiveness of treadmill training on balance control in elderly people: a randomized controlled clinical trial. *Iran J Med Sci.* 2014; 39: 565. doi: <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.16.04322-7>
18. Strohacker K, Fazzino D, Breslin WL, Xu X. The use of periodization in exercise prescriptions for inactive adults: a systematic review. *Prev Med Rep.* 2015; 2: 385-396. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2015.04.023>

19. Hoover DL, Vanwye WR, Judge LW. Periodization and physical therapy: Bridging the gap between training and rehabilitation. *Phys Ther Sport*. 2016; 18: 1-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2015.08.003>
20. Granacher U, Lacroix A, Muehlbauer T, Roettger K, Gollhofer A. Effects of core instability strength training on trunk muscle strength, spinal mobility, dynamic balance and functional mobility in older adults. *Gerontology*. 2013; 59: 105-113. doi: <https://doi.org/10.1159/000343152>
21. Baecke JA, Burema J, Frijters JE. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr*. 1982; 36: 936-942. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/36.5.936>
22. Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Singh MAF, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, et al. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009; 41: 1510-1530. doi: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c>
23. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. New York: Routledge; 1988.
24. Pluchino A, Lee SY, Asfour S, Roos BA, Signorile JF. Pilot study comparing changes in postural control after training using a video game balance board program and 2 standard activity-based balance intervention programs. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012; 93(7): 1138-1146. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.023>
25. Lelard T, Ahmaidi S. Effects of physical training on age-related balance and postural control. *Neurophysiol Clin*. 2015; 45: 357-369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.09.008>
26. Herdman SJ. Vestibular rehabilitation. *Curr Opin Neurol*. 2013; 26: 96-101. doi: <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e32835c5ec4>
27. Thomas E, Battaglia G, Patti A, Brusa J, Leonardi V, Palma A, et al. Physical activity programs for balance and fall prevention in elderly: A systematic review. *Medicine (Baltimore)*. 2019; 98(27): e16218. doi: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000016218>
28. Ni M, Mooney K, Richards L, Balachandran A, Sun M, Harriell K, et al. Comparative impacts of Tai Chi, balance training, and a specially-designed yoga program on balance in older fallers. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014; 95: 1620-1628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.022>
29. Penzer F, Duchateau J, Baudry S. Effects of short-term training combining strength and balance exercises on maximal strength and upright standing steadiness in elderly adults. *Exp Gerontol*. 2015; 61: 38-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2014.11.013>
30. Pinzón-Ríos ID, Moreno-Collazos JE. Envejecimiento neural, plasticidad cerebral y ejercicio: Avances desde la óptica de fisioterapia. *Arch Med*. 2020; 20(1): 188-202. doi: <https://doi.org/10.30554/arch-med.20.1.3459.2020>
31. Macpherson JM, Horak FB. Posture. In: Kandel E, Schwartz J, Jessell TM, Siegelbaum SA, Hudspeth AJ, editors. 5th ed. *Principles of neural science*, New York: Mc Graw Hill; 2013: p. 811-822.
32. Brachman A, Marszałek W, Kamieniarz A, Michalska J, Pawłowski M, Akbaş A, et al. The effects of exergaming training on balance in healthy elderly women-a pilot study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(4): 1412. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph18041412>
33. Wolf R, Locks RR, Lopes PB, Bento PCB, Rodacki ALF, Carraro AN, et al. Multicomponent exercise training improves gait ability of older women rather than strength training: a randomized controlled trial. *J Aging Res*. 2020; 6345753. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/6345753>