

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320440638>

Desarrollo de un índice de equilibrio para evaluar la funcionalidad en mujeres mayores de 60 años

Article in *Fisioterapia* · October 2017

DOI: 10.1016/j.ft.2017.07.005

CITATIONS

0

READS

66

4 authors, including:



Adriana Rocío Gutiérrez-Galvis

Manuela Beltrán University

5 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jhon Fredy Ramirez Villada

University of Antioquia

70 PUBLICATIONS 101 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rodrigo Esteban Argoty-Bucheli

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

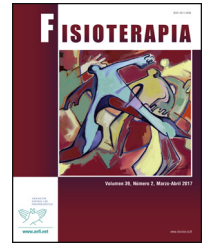
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



COGNITIVE AND FUNCTIONAL RESPONSES TO VIDEOGAMES PROGRAMS APPLIED ON ACTIVE AND NON ACTIVE INDIVIDUALS. [View project](#)



Analysis of Aquatic Training Program In Water On Functional Parameters Of Elderly Women: 1993 Board #6 June 1 2 [View project](#)



ORIGINAL

Desarrollo de un índice de equilibrio para evaluar la funcionalidad en mujeres mayores de 60 años



A.R. Gutiérrez-Galvis^a, J.F. Ramírez-Villada^{b,c,*}, R.E. Argothy-Bucheli^d
y J.F. Zea-Castro^e

^a Docente Investigadora Maestría en Ciencias y Tecnologías del Deporte y la Actividad Física, Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia

^b Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

^c Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

^d Laboratorio de Biomecánica, COLDEPORTES, Bogotá, Colombia

^e Programa de pregrado en Estadística, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

Recibido el 10 de enero de 2017; aceptado el 14 de julio de 2017

Disponible en Internet el 16 de octubre de 2017

PALABRAS CLAVE

Caídas;
Anciano;
Equilibrio;
Postura;
Diagnóstico;
Rehabilitación

Resumen

Introducción: La cantidad de variables obtenidas sobre una plataforma de fuerza usada para medir el equilibrio estático hace del análisis de los resultados un proceso complejo. El objetivo de este estudio es desarrollar un índice estadístico aplicado a la evaluación de la estabilometría sobre plataformas de fuerza en mujeres mayores de 60 años.

Material y métodos: Sesenta y una mujeres activas y sedentarias ($64,12 \pm 4,25$ años) fueron evaluadas respecto a su capacidad de equilibrio estático con los ojos abiertos y cerrados sobre una plataforma de fuerza utilizando las variables del centro de presión.

Resultados: Fueron resumidas 18 variables de equilibrio, lo cual permitió construir un índice resumen que integra la respuesta del equilibrio estático con los ojos abiertos y cerrados así: $I = 0, 29C_3 + 0, 22C_5 + 0, 26C_6 + 0, 24C_9$

Conclusiones: Entre 18 variables solo el radio (C3), el radio mínimo (C5), el rango transversal (C6) y la velocidad (C9) del centro de presión permiten valorar la capacidad de equilibrio estático (ojos abiertos y cerrados) de manera integral, lo cual soporta la construcción de un índice predictivo.

© 2017 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jhonramirezvillada@gmail.com (J.F. Ramírez-Villada).

KEYWORDS

Accidental falls;
Aged;
Balance;
Posture;
Diagnosis;
Rehabilitation

Development of a balance index to evaluate the functionality of women over 60 years**Abstract**

Introduction: The quantity of variables obtained on a force platform used to measure the dynamic or static balance makes the analysis of the results complex. The purpose of this study is to develop a statistical index applied to the evaluation of the balance on force platforms to be applied in older women over 60-years.

Materials and methods: A total of 61 active and sedentary women (64.12 ± 4.25 years) were evaluated as regards their static balance capacity with eyes opened and closed on a force platform using the variables derived of centre of pressure (COP).

Results: A total of 18 variables of balance were summarised in order to construct an index summary that integrates the response of the open and closed eyes static balance as follows: $I = 0.29C_3 + 0.22C_5 + 0.26C_6 + 0.24C_9$

Conclusions: Of the 18 variables analysed, only the radius (C3), the minimal radius (C5), the transverse range (C6), and the speed (C9) of the COP was useful in the integrated measurement of the capacity of static balance (opened and closed eyes), which supports the construction of a predictive index.

© 2017 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Entre un 20% a un 30% de las personas mayores que se caen sufren lesiones moderadas o graves como hematomas, fracturas de cadera o traumatismos craneoencefálicos¹. Dichas caídas ocasionan altos niveles de mortalidad y discapacidad permanente en adultos mayores de 65 años, generando altos costos económicos y sociales para los cuidadores y el sistema de salud². A nivel clínico se ha observado un aumento en la oscilación postural en quienes han sufrido caídas³, y ello se debe a que en los adultos mayores se disminuye la capacidad de procesamiento sensorial y la masa muscular, lo cual provoca una generación tardía de fuerzas de propulsión, reducción de torques articulares y de la velocidad de contracción muscular, elementos responsables del mantenimiento del equilibrio⁴.

El estudio de la marcha y del equilibrio facilitan la identificación temprana de trastornos patológicos que comprometen el sistema neuromuscular⁵, tales como la enfermedad arterial periférica y la enfermedad de Parkinson, entre otros. Además, la inestabilidad postural también se ha asociado con cambios en el cerebro y con el deterioro funcional, razones por las cuales se considera un importante indicador a tener en cuenta en la valoración geriátrica integral.

Al respecto la estabilometría es la técnica de medición designada para medir la función del balance y postura global en sujetos que mantienen la posición bípeda⁶, donde una de las herramientas ampliamente utilizadas para la evaluación del equilibrio son las plataformas de fuerza⁷, dispositivos planos y rígidos que permiten la captación y el registro de las fuerzas de reacción del suelo originadas en el contacto que el pie ejerce sobre ellas, tanto en posición dinámica como estática.

Dichos instrumentos permiten cuantificar la fuerza de reacción del piso ubicada en medio de los pies, que es acorde

a la línea de gravedad del cuerpo y que define el centro de presión (COP), que no es otra cosa que el punto en la base de apoyo donde se aplica la resultante de las fuerzas de reacción del suelo que se acomoda de acuerdo a la oscilación anteroposterior y medio lateral del cuerpo⁸.

En este sentido, las plataformas de fuerza permiten cuantificar el desplazamiento anteroposterior (longitudinal), medio-lateral (transversal), longitud de la trayectoria, velocidad, radio, rango transversal y longitudinal del COP⁹. Sin embargo, aún no existe un estándar sobre qué variables se deben utilizar para evaluar el equilibrio¹⁰, lo cual obliga a depurar el número de variables y construir índices que permitan estandarizar la evaluación del equilibrio sobre plataformas de fuerza.

Los índices son modelos matemáticos que se construyen a partir de la identificación, cuantificación y relación de variables. Particularmente los índices en el campo de la salud permiten caracterizar¹¹, clasificar, comparar, detectar y realizar seguimiento a fluctuaciones en el estado de salud de los miembros de una población. Estos índices son útiles desde el punto de vista epidemiológico cuando su cálculo es simple¹² y las medidas iniciales a partir de las cuales se calcula son económicas y fáciles de obtener¹¹.

Considerando los elementos expuestos, el objetivo del presente estudio fue desarrollar un índice que permita evaluar, clasificar, diagnosticar y realizar seguimiento a la capacidad de equilibrio de mujeres mayores de 60 años valoradas sobre plataformas de fuerza.

Material y métodos

El presente es un estudio de corte transeccional de 61 pacientes realizado en su examen obligatorio de aptitud física, antes de su participación en un programa de actividad física liderado por las instituciones figurantes. Los registros fueron tomados de las bases de datos de los grupos

Tabla 1 Características generales de los grupos de mujeres posmenopáusicas con y sin historia de entrenamiento durante los últimos 8 meses cuyos datos en conjunto permitieron la construcción del índice

Variables	Mujeres activas (n = 30) Media ± DS	Mujeres sedentarias (n = 31) Media ± DS	AW vs IW Comparación intermuestral
Edad (años)	63,54 ± 3,63	64,73 ± 4,88	*
Peso (kg)	62,58 ± 3,61	61,73 ± 7,61	*
Talla (cm)	1,53 ± 0,05	1,52 ± 0,05	**
IMC (cm)	26,63 ± 3,84	26,67 ± 3,47	***

Valores expresados como media ± desviación estándar.

AW: grupo mujeres participantes de un programa de actividad física basado en movimientos de impacto y explosivo; IW: grupo de mujeres sedentarias.

*No significativo

**Muy significativo $p < 0,001$.

***Significativo $p < 0,05$.

de mujeres que fueron clasificados como aptos para iniciar su participación en programas de actividad física. Los datos del total de mujeres (n = 61) son discriminados entre activas y sedentarias, aunque debe aclararse que el modelo estadístico propuesto consideró el grupo total (tabla 1).

Población

Las características de inclusión de los pacientes fueron las siguientes: mayores de 60 años (64,12 ± 4,25 años), de género femenino, nivel de actividad física «activo y sedentario», con autorización clínica y funcional para la práctica de actividad física dada por escrito por el personal médico del estudio.

Aun reuniendo los criterios descritos, los pacientes fueron excluidos si presentaban deformidad de la columna vertebral, en miembros superiores o inferiores, amputaciones, uso de prótesis, uso de medicamentos que pudieran afectar negativa o positivamente la condición física 30 días antes de las pruebas, enfermedades cardiovasculares limitantes (angina de pecho, insuficiencia cardíaca, insuficiencia venosa crónica, entre otras), lesiones articulares con contraindicación para la aplicación de las pruebas de valoración sugeridas, así como alguna condición limitante observada en la valoración clínica.

El estudio y sus procedimientos fueron ajustados a los principios establecidos en la carta de Helsinki¹³. En consecuencia, todos los individuos fueron informados de las características del estudio, sus objetivos, los procedimientos a aplicar, los riesgos potenciales y el uso de la información aprobando su participación con la firma y huella en un consentimiento informado. Los protocolos y procedimientos fueron autorizados por el comité bioético de las instituciones involucradas con oficio bioético número 02-25022015.

El test de Romberg es descrito en 1853¹⁴, sin embargo, la evaluación del test sobre plataforma de fuerza data del año 1982, como respuesta a la necesidad de registrar y cuantificar los movimientos del cuerpo durante el desempeño de la prueba, así como de elevar los niveles de confiabilidad y

validez de protocolo con el uso de dispositivos tecnológicos modernos. Dicho protocolo ha revelado niveles de confiabilidad entre ICC = 0,90-0,91 para ojos abiertos e ICC = 0,76-0,77 para ojos cerrados, así como correlaciones con otras pruebas afines entre «r» = 0,60 y 0,90¹⁵.

La evaluación del equilibrio estático mediante el test de Romberg se inicia con la explicación de la prueba, en un segundo momento con el ingreso al centro la plataforma del paciente y la acomodación del cuerpo en posición funcional (pies juntos, brazos sueltos a los lados y ojos abiertos)¹⁶ y, finalmente, con el registro de la variación de la posición funcional durante un minuto con los ojos abiertos más un minuto adicional para los ojos cerrados, donde cada prueba (ojos abiertos vs ojos cerrados) es registrada por triplicado, tomando el promedio de las 3 repeticiones para su posterior análisis. La prueba fue repetida cuando se presentaron algunos de los siguientes errores en la prueba: a) la necesidad de abrir los ojos; b) mover los brazos o los pies para lograr la estabilidad; y c) requerir intervención del evaluador para mantener el equilibrio¹⁷.

Se registraron las variables desplazamiento transversal (COPT, unidad mm), desplazamiento longitudinal (COPL, unidad mm), radio (mm), valor máximo del radio (mm), valor mínimo del radio (mm), rango transversal (mm), rango longitudinal (mm), longitud de la traza (mm), velocidad (mm/s), empleando un equipo BTS-Smart-E 6000® technology (Motion Analysis System) con software incorporado y calibrado con un margen de error máximo tolerado ≤ 0,01. A la calibración del equipo se suma un manual de procedimientos aplicado estrictamente por evaluadores ajenos a la investigación, de manera que se neutralizaran fuentes de error relacionadas con el vicio de procedimiento y el error interobservador. Antes de proceder a aplicar los protocolos, se realizó una prueba piloto previa en la cual se alcanzó un margen de error inferior al 0,01 para el total de las variables.

Análisis estadístico propuesto para la construcción del índice

Las variables de equilibrio utilizadas en el estudio son descritas en la tabla 2. Para la construcción del índice se empleó el método de análisis de componentes principales (ACP), que permite evaluar las semejanzas entre los individuos y la relación entre variables cuantitativas mediante la generación de indicadores sintéticos que agrupan. También se utiliza este proceso para la selección del grupo de variables de equilibrio a utilizar con la técnica conocida como análisis de correlación canónica¹⁸.

El proceso se inicia con la reducción del grupo de variables de equilibrio estático a un conjunto más pequeño, y empleando como criterio la correlación existente entre las mismas (tabla 3). Seguido, se consideran 2 momentos en el test para el análisis, los relacionados con las variables obtenidas de la prueba con los ojos abiertos (O) y las registradas con los ojos cerrados (C). Las nuevas variables a construir serán combinaciones lineales de las variables originales y se ordenarán de acuerdo al porcentaje de varianza que recogen con respecto a la varianza total¹⁹.

Mediante la técnica estadística conocida como análisis de correlación canónica se logra verificar qué variables de equilibrio medidas en los pacientes con los ojos abiertos generan

Tabla 2 Características cinemáticas (ojos abiertos y cerrados) de los grupos de mujeres posmenopáusicas con y sin historia de entrenamiento durante los últimos 8 meses cuyos datos en conjunto permitieron la construcción del índice

Variables Cinemáticas (ojos abiertos y cerrados)	Mujeres activas y sedentarias (n = 61) $\bar{X} \pm DS$	Mediana	Mín.	Máx.
Desplaz. transv. COP (mm)	21,54 $\pm$ 16,37	18,93	-11,79	61,99
Desplaz. long. COP (mm)	79,30 $\pm$ 46,76	72,26	2,08	200,82
Radio (mm)	4,81 $\pm$ 1,38	4,50	2,25	8,94
Radio máximo (mm)	16,16 $\pm$ 5,52	15,31	7,06	30,27
Radio mínimo (mm)	0,28 $\pm$ 0,59	0,20	0,04	4,76
Rango transversal (mm)	16,81 $\pm$ 5,94	16,14	6,20	31,93
Rango longitudinal (mm)	26,32 $\pm$ 8,69	25,21	11,40	51,72
Longitud de la traza (mm)	752,59 $\pm$ 182,47	727,86	471,44	1338,22
Velocidad (mm/s)	12,09 $\pm$ 2,90	11,63	7,76	21,17
Desplaz. transv. COP (mm)	20,33 $\pm$ 18,09	18,88	-31,72	55,74
Desplaz. long. COP-ojos cerrados (mm)	77,21 $\pm$ 58,97	65,59	-87,56	189,34
Radio-ojos cerrados (mm)	4,97 $\pm$ 1,61	4,54	2,06	9,53
Máx. radio-ojos cerrados (mm)	16,81 $\pm$ 5,87	15,95	7,41	42,46
Mín. radio ojos cerrados (mm)	0,19 $\pm$ 0,09	0,17	0,07	0,57
Rango transv. ojos cerrados (mm)	17,08 $\pm$ 6,91	15,55	5,38	42,27
Rango long. ojos cerrados (mm)	27,98 $\pm$ 9,24	27,40	12,98	61,35
Longitud de la traza ojos cerrados (mm)	844,35 $\pm$ 245,70	791,53	424,22	1757,85
Velocidad ojos cerrados (mm/s)	13,45 $\pm$ 3,93	12,53	6,92	27,11

Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar.**Tabla 3** Variables consideradas en la construcción de un índice general de equilibrio

Variables (equilibrio estático con ojos abiertos [O] y con ojos cerrados [C])	Símbolo
Desplazamiento transversal	(O ₁ , C ₁)
Desplazamiento longitudinal (centro de presión, COP)	(O ₂ , C ₂)
Radio	(O ₃ , C ₃)
Radio máximo	(O ₄ , C ₄)
Radio mínimo	(O ₅ , C ₅)
Rango transversal	(O ₆ , C ₆)
Rango longitudinal	(O ₇ , C ₇)
Longitud de la traza	(O ₈ , C ₈)
Velocidad medio lateral	(O ₉ , C ₉)

la misma información que las variables de equilibrio registradas con los ojos cerrados. Esta técnica permite construir combinaciones lineales de 2 conjuntos de variables, de tal forma que la correlación entre los índices generados de cada conjunto de variables (las variables canónicas) sea máxima.

Para determinar lo anterior se construyó la primera variable canónica como una combinación lineal de las variables de equilibrio de ojos abiertos (9 variables), y la segunda variable canónica como una combinación lineal de las variables de equilibrio de ojos cerrados (9 variables). Las 2 variables canónicas presentaron una correlación de 0,953, lo cual permite concluir que es suficiente utilizar un solo grupo de variables de equilibrio para resumir las 18 variables.

El conjunto de variables que se conservarán para la construcción del índice se determina por medio del ACP; esta técnica permite reducir la dimensionalidad de las variables en un menor número de variables conocidas como los componentes principales o ejes factoriales.

Por medio del análisis de componentes principales se determina que el conjunto de variables de equilibrio con los ojos cerrados y abiertos recogen respectivamente un 54,6% y 45,4% en la construcción del primer componente principal (esta medición se calcula basándonos en la suma de las inercias de cada conjunto de variables). Por lo tanto, se escoge el conjunto de variables de equilibrio medidas con los ojos cerrados para la creación del índice sintético de equilibrio estático.

Una vez definidas las variables de equilibrio para la construcción del índice (variables de equilibrio tomadas con los ojos cerrados) se desarrolla un nuevo análisis de componentes principales, el cual permite reducir la dimensionalidad a un número menor de variables llamados factores o componentes principales, los cuales recogen la variabilidad de los datos. Posteriormente, se calcula la contribución de cada una de las 9 variables en la construcción del primer componente principal²⁰.

Con el ACP se encuentra una nueva variable (primer componente principal), que es combinación lineal de las variables de equilibrio con los ojos cerrados y logra recoger la mayor proporción de variabilidad de los datos. Las variables C₁ y C₂ tienen una correlación baja con el primer componente principal (0,08 y 0,13), por tanto, C₁ y C₂ aportan poco a la construcción del índice y, consecuentemente, no se utilizan para su construcción. Las correlaciones de cada una de las variables con el primer factor y su contribución se muestran en la [tabla 4](#).

Tabla 4 Correlaciones presentadas entre las variables de estabilometría «prueba ojos abiertos» con el primer componente y contribución de las variables del primer eje factorial

Componente	Correlaciones valor «r»	Contribuciones (%)
C1	0,08	0,15
C2	0,13	0,34
C3	0,95	18,78
C4	0,87	15,75
C5	0,57	6,69
C6	0,79	13,07
C7	0,90	16,89
C8	0,82	13,96
C9	0,83	14,39

Todos los valores «r» presentados corresponden con valores $p \leq 0,05$.

C1: desplazamiento transversal; C2: desplazamiento longitudinal; C3: radio; C4: radio máximo; C5: radio mínimo; C6: rango transversal; C7: rango longitudinal; C8: longitud de la traza; C9: velocidad medio lateral.

Una herramienta muy útil para analizar la correlación existente entre un conjunto de variables y la correlación de estas variables con los 2 primeros factores resultantes de un análisis de componentes principales es el círculo de correlaciones, en el cual las variables se representan como vectores inscritos en el círculo unitario. Las variables que conformen un ángulo cercano a 90 grados tienen una correlación muy baja; por otro lado, las variables que tienen un ángulo cercano a 0 grados se encuentran altamente correlacionadas. Al respecto, si los 2 vectores apuntan a la misma dirección tienen una correlación cercana a 1 (relación lineal directamente proporcional), en tanto que los vectores que apuntan a direcciones opuestas indican que la correlación entre las variables es cercana a -1 (relación lineal inversamente proporcional).

Las variables de equilibrio estático (medidas con los ojos cerrados) se reducirán en función de la correlación que tengan entre ellas y del grado de correlación que tengan las variables con el primer factor, en otras palabras, se conservarán las variables que tengan una alta contribución a la construcción del primer factor.

Al observar el círculo de correlaciones se observa que las variables C_8 y C_9 están altamente correlacionadas entre ellas (fig. 1 A) y con el primer factor, aunque su contribución es redundante en la construcción del mismo. Por tanto, se escoge de las 2 variables aquella que tenga mayor correlación con el primer factor, en este caso particular la variable C_9 , la cual tiene una correlación de 0,83 aportando un 14,4% en la construcción del primer factor.

Para el caso de las variables C_3 , C_4 y C_7 los resultados indican que presentan una alta correlación entre ellas, como se evidencia al observar el círculo de correlaciones (fig. 1 B). Entre ellas se escoge C_3 , que es la que tiene mayor correlación con el primer factor (0,95) y permite un aporte del 18,78% en la construcción del índice. Finalmente, las variables C_5 y C_6 tienen una alta correlación con el primer factor y son incluidas para la construcción del índice (tabla 2).

Con las variables seleccionadas (C_9 , C_3 , C_5 y C_6) se realiza un análisis de componentes principales. En cuanto a las variables que no se seleccionaron, si bien no se utilizan para

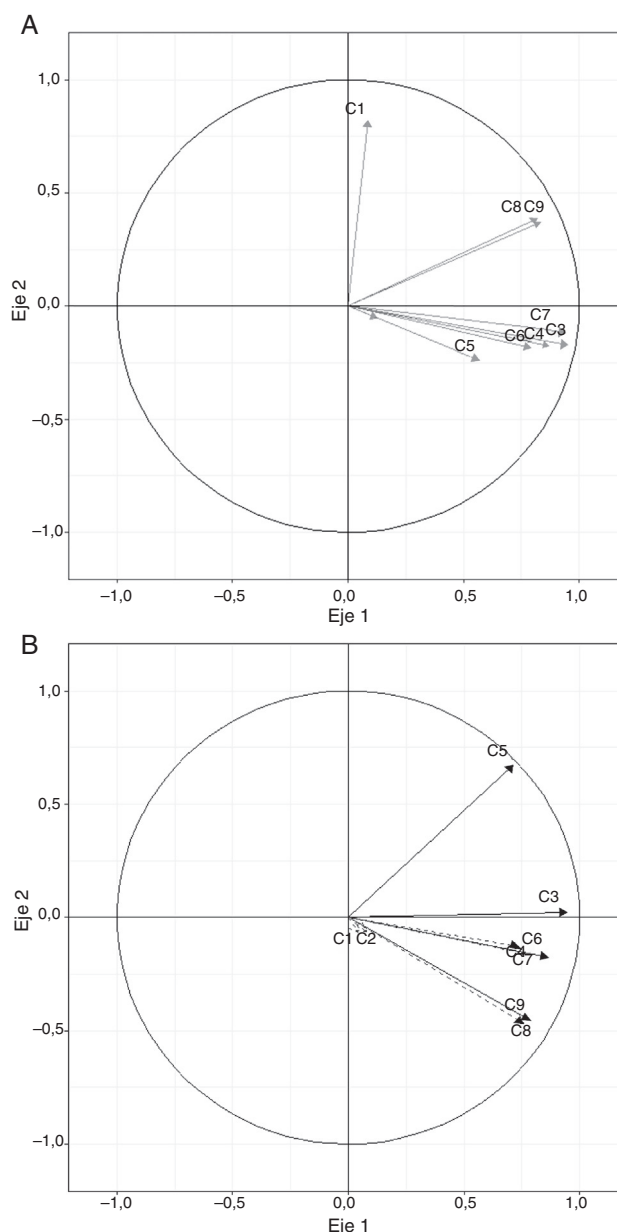


Figura 1 Círculo de correlación: variables de estabilometría con ojos cerrados (A) y ojos abiertos (B).

C1: desplazamiento transversal; C2: desplazamiento longitudinal; C3: radio; C4: radio máximo; C5: radio mínimo; C6: rango transversal; C7: rango longitudinal; C8: longitud de la traza; C9: velocidad medio lateral.

la construcción del índice, se proyectan en el círculo de correlaciones al igual que las demás variables de equilibrio dinámico medidas con los ojos abiertos (variables ilustrativas). Se observa que las variables excluidas en el análisis están altamente correlacionadas con las variables seleccionadas.

El primer factor resultante con las variables seleccionadas recoge una variabilidad del 68,5%, con lo cual el primer factor explica lo suficientemente bien la variabilidad de las variables de equilibrio dinámico. El índice de equilibrio estático se construye entonces basado en el primer factor (componente principal) de las variables seleccionadas.

Tabla 5 Cargas y pesos para la construcción del primer factor del análisis de componentes principales con las variables de equilibrio estático seleccionadas para la construcción de un índice diagnóstico

Componente seleccionado	Carga de las variables	Peso porcentual (%)
1	-0,57	0,29
2	-0,43	0,22
3	-0,52	0,26
4	-0,47	0,24

En la [tabla 5](#) se presenta la correlación del primer factor con cada una de las variables de análisis, se observa que la mayoría de las variables tienen una alta correlación con este factor, por otro lado, se observa que las variables O_1 , O_2 , C_1 y C_2 tienen una relación débil con el primer factor.

Resultados

El índice es construido con los pesos o cargas utilizados para la construcción del primer factor resultante del análisis de componentes principales con las variables seleccionadas. Los pesos del primer componente principal se presentan en la [tabla 5](#) y se escalan entre cero y uno para facilitar la interpretación del índice.

Finalmente, el índice de equilibrio dinámico se construye por medio de la siguiente ecuación:

$$I = 0.29C_3 + 0.22C_5 + 0.26C_6 + 0.24C_9$$

Donde C_3 es el Radio, C_5 es el radio mínimo, C_6 rango transversal y C_9 la velocidad medio lateral resultante al realizar la prueba con los ojos cerrados.

Discusión

Los resultados permiten cumplir con el objetivo propuesto en el estudio de presentar un índice que resuma los indicadores más relevantes a la hora de evaluar, clasificar e intervenir el equilibrio de mujeres mayores de 60 años valoradas sobre plataformas de fuerza.

Se resalta que el proceso de envejecimiento influye en el control postural y en la capacidad de responder eficientemente a fuerzas externas (resbalones, caídas, empujones y otros)^{21,22}. Sobre el tema es posible que los mecanismos neurofisiológicos involucrados se deterioren con el paso de los años debido a una respuesta diferenciada por etapa de maduración, incluso por género, que merece ser estudiada dado su valor para los procesos diagnósticos y de intervención²³.

Los instrumentos de evaluación del equilibrio sugeridos emplean parámetros del COP y la proporción de fuerza vertical en cada pierna. Al respecto, la respuesta del sistema neuromuscular para la regulación postural puede ser analizada usando acciones estáticas (posición estática vertical) y dinámicas (empleando una fuerza desequilibradora externa), ya que las fluctuaciones anteroposteriores del COP

en condiciones estáticas pueden predecir la respuesta de los sistemas de control neuromuscular en condiciones dinámicas con sujetos jóvenes y adultos mayores^{24,25}.

Dichos resultados fueron considerados en el presente estudio, donde las variables registradas en posición estática con ojos abiertos y cerrados describieron relaciones lineales similares a los reportes arriba referenciados, que permiten sintetizar la respuesta estática en un índice de fácil aplicación. En el caso del presente estudio esa tendencia de las variables (posición estática, ojos abiertos-cerrados) permite construir un índice de control diagnóstico que podría facilitar el proceso de registro, análisis e interpretación del nivel de control de equilibrio empleando una plataforma de fuerza en mujeres mayores de 60 años. Nuevamente llama la atención que los estudios mencionados no encuentran diferencias entre jóvenes y adultos mayores, además de indicar las variables registradas en acciones estáticas como predictoras de la respuesta del sistema de control postural neuromuscular en acciones dinámicas, elementos que son considerados en el índice propuesto.

Otro aspecto a resaltar es la nula diferencia entre los registros de las variables con los ojos cerrados y abiertos, lo cual es contrario en otro estudio a los resultados que reportan un incremento en el movimiento del COP con los ojos cerrados durante la evaluación de equilibrio estático por posturografía²⁶, un aspecto que merece ser analizado de cara a identificar los factores causales de ese desenlace particular. En esta línea, nuevamente el estudio de Baratto et al.²³, que incluyó 38 variables derivadas del centro de presión, sugiere la velocidad media para el proceso diagnóstico, resultados que coinciden con otros estudios^{27,28} y con el peso predictivo de la misma variable para la construcción del índice en el presente estudio.

Si bien no se ha encontrado índices para la evaluación del equilibrio sobre plataformas de fuerza, existe una sugerencia para valorar el equilibrio con el índice de estabilidad postural (*postural stability index*) definido como la proporción del porcentaje del total del torque estabilizador y desestabilizante total del tobillo debido a la gravedad empleando el producto del peso, altura y el seno del ángulo durante el equilibrio estático. En esa línea, el análisis integral de la capacidad de control postural en adultos mayores (posturografía) obliga a incluir no solo los registros cinemáticos y electromiográficos de la articulación de la cadera y el tobillo, tal como lo sugieren estos estudios, también los parámetros relacionados con el COP²⁹, aspectos que en conjunto permitirían apoyar el proceso de valoración diagnóstica integral del control postural en adultos mayores.

Entre las limitaciones del estudio se encuentra la no incorporación de variables relacionadas con intervalos por edad, sexo, nivel de actividad física, trastornos del sistema nervioso, entre otros, que abren nuevos frentes de discusión. De igual forma, la importancia de ofrecer a partir de este primer momento registros sobre la sensibilidad del modelo propuesto con el tipo y número de fallos, accidentes o caídas, lo cual permite articular las nociones desde la práctica clínica.

A modo de conclusión, el uso de las variables de velocidad y desplazamiento medio lateral del COP con ojos abiertos se ha sugerido como un posible predictor de futuras caídas en adultos mayores⁷, dada la sensibilidad del sistema de

registro, donde el índice propuesto con el presente estudio integra y reduce el número de variables, lo cual facilitaría la medición y diagnóstico de la capacidad de control postural del paciente. De igual manera, se debe considerar la importancia de incorporar nuevos modelos de análisis matemático estadístico que permitan agilizar el proceso de registro en laboratorio y campo, reducir los tiempos de espera del paciente y facilitar la comparación de poblaciones, entre otros aspectos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación

Los autores dan reconocimiento a las Universidades Manuela Beltrán y Santo Tomás por el apoyo brindado para la ejecución de esta propuesta.

Bibliografía

1. WHO. WHO global report on falls prevention in older age. Francia: World Health Organization; 2007.
2. Hewitt J, Refshauge KM, Goodall S, Henwood T, Clemson L. Does progressive resistance and balance exercise reduce falls in residential aged care? Randomized controlled trial protocol for the SUNBEAM program. *Clin Interv Aging*. 2014;9:369–76.
3. Kerr GK, Worringham CJ, Cole MH, Lacherez PF, Wood JM, Silburn PA. Predictors of future falls in Parkinson disease. *Neurology*. 2010;75:116–24.
4. Granacher U, Muehlbauer T, Gollhofer A, Kressig RW, Zahner L. An intergenerational approach in the promotion of balance and strength for fall prevention—a mini-review. *Gerontology*. 2011;57:304–15.
5. Springer BA, Marin R, Cyhan T, Roberts H, Gill NW. Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. *J Geriatr Phys Ther*. 2007;30:8–15.
6. Tokita T, Maeda M, Miyata H. The role of the labyrinth in standing posture regulation. *Acta Otolaryngol*. 1981;91:521–7.
7. Piirtola M, Era P. Force platform measurements as predictors of falls among older people—a review. *Gerontology*. 2006;52:1–16.
8. Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions—A systematic review of the literature. *Gait & Posture*. 2010;32:436–45.
9. Agostini V, Chiaramello E, Canavese L, Bredariol C, Knäflitz M. Postural sway in volleyball players. *Hum Mov Sci*. 2013;32:445–56.
10. Duarte M, Freitas SM. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Rev Bras Fisioter*. 2010;14:183–92.
11. Florey Cdu V. The use and interpretation of ponderal index and other weight-height ratios in epidemiological studies. *J Chronic Dis*. 1970;23:93–103.
12. Monterrey P, Porrata C. Procedimiento gráfico para la evaluación del estado nutricional de los adultos según el índice de masa corporal. *Rev Cubana Aliment Nutr*. 2001;15:62–7.
13. General Assembly of the World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *J Am Coll Dent*. 2014;81:14.
14. Romberg MH. Manual of nervous diseases of man (Sydenham Society, Ed. 1853). London [consultado 3 Nov 2016]. Disponible en: <https://ia800503.us.archive.org/13/items/manualofnervousd02rombuoft/manualofnervousd02rombuoft.pdf>
15. Franchignoni F, Tesio L, Martino MT, Ricupero C. Reliability of four simple, quantitative tests of balance and mobility in healthy elderly females. *Aging Clin Exp Res*. 1998;10:26–31.
16. Black FO, Wall C, Rockette HE, Kitch R. Normal subject postural sway during the Romberg test. *Am J Otolaryngol*. 1982;3:309–18. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7149143>
17. Harun A, Semenov YR, Agrawal Y. Vestibular function. Activities of daily living: Analysis of the 1999 to 2004 National Health and Nutrition Examination. *Gerontol Geriatr Med*. 2015:1–8.
18. Escofier B, Pagés J. Analyses factorielles simples et multiples: Objectifs, méthodes et interprétation. Paris: Dunod; 2008.
19. Everitt B, Hothorn T. An introduction to applied multivariate analysis with R. New York: Springer; 2011.
20. Lê S, Josse J, Husson F, FactoMine R. An R package for multivariate analysis. *J Stat Softw*. 2008;25.
21. Amiridis IG, Hatzitaki V, Arabatzi F. Age-induced modifications of static postural control in humans. *Neurosci Lett*. 2003;350:137–40.
22. Burke TN, França FJ, Meneses SR, Cardoso VI, Pereira RM, Danilevicius CF, et al. Postural control among elderly women with and without osteoporosis: Is there a difference? *Sao Paulo Med J*. 2010;128:219–24.
23. Baratto L, Morasso PG, Re C, Spada G. A new look at posturographic analysis in the clinical context: Sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control*. 2002;6:246–70.
24. Hsiao-Wecksler ET, Katdare K, Matson J, Liu W, Lipsitz LA, Collins JJ. Predicting the dynamic postural control response from quiet-stance behavior in elderly adults. *J Biomech*. 2003;36:1327–33.
25. Lauk M, Chow CC, Pavlik AE, Collins JJ. Human balance out of equilibrium: Nonequilibrium statistical mechanics in posture control. *Phys Rev*. 1998;80:413–6.
26. Yoon JJ, Yoon TS, Shin BM, Na EH. Factors affecting test results and standardized method in quiet standing balance evaluation. *Ann Rehabil Med*. 2012;36:112–8.
27. Cornilleau-Péres V, Shabana N, Droulez J, Goh JCH, Lee GSM, Chew PTK. Measurement of the visual contribution to postural steadiness from the COP movement: Methodology and reliability. *Gait & Posture*. 2005;22:96–106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.07.009>.
28. Lafond D, Corriveau H, Hébert R, Prince F. Intrasection reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:896–901.
29. Corriveau H, Hébert R, Prince F, Raïche M. Postural control in the elderly: An analysis of test-retest and interrater reliability of the COP-COM variable. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:80–5.