

[dx.doi.org/10.17488/RMIB.38.1.6](https://doi.org/10.17488/RMIB.38.1.6)

Patrones biomecánicos de referencia para el diagnóstico temprano de trastornos del equilibrio: Estudio piloto

Biomechanical reference standards for early diagnosis of disturbances of balance: pilot study

C. Cifuentes-De la Portilla¹, O. Perdomo-Charry², R. Argothy-Bucheli³

¹Facultad de medicina. Universidad de Especialidades Espíritu Santo - UEES, Ecuador.

²Grupo de Investigación MindLab, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.

³Centro de Ciencias del Deporte - CCD, Coldeportes Colombia.

RESUMEN

La inestabilidad de la postura y alteración del balance corporal son signos comúnmente observados en sujetos con afecciones que comprometen el sistema músculo-esquelético, visual, vestibular y propioceptivo, siendo la estabilometría la principal herramienta de valoración clínica. Sin embargo, no se ha podido establecer un gold standard o patrones cuantitativos que permitan clasificar sujetos sanos y patológicos basados en el grado de alteración del equilibrio. **Objetivo:** El objetivo principal de este estudio fue realizar un análisis estabilométrico preliminar con 38 sujetos sanos (19 mujeres y 19 hombres), con el fin de identificar un patrón de desplazamiento característico de la postura. **Metodología:** Este estudio se basó en la aplicación del test de Romberg. Se realizaron tres mediciones en cada paciente con ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC), ubicados sobre una plataforma de fuerza en posición vertical. **Resultado:** se identificó un patrón característico de desplazamiento en los ejes medio-lateral X y antero-posterior Y, así como una estabilidad notable sobre el eje vertical Z, alrededor del centro de presión. **Limitaciones:** Sin embargo, debido al tamaño de la muestra, no se encontraron resultados concluyentes sobre las diferencias de índice de masa corporal, sexo o edad en el grupo de estudio. **Originalidad:** A pesar de ello, se encontraron parámetros prometedores para la evaluación de la estabilometría en personas jóvenes sanas, fortaleciendo con ellos las herramientas objetivas de valoración clínica. **Conclusión:** Esta investigación permitió identificar características de movimiento comunes para pacientes normales, que pueden ser consideradas como un patrón objetivo para el seguimiento y evaluación de tratamientos en pacientes con trastornos del equilibrio de origen patológico.

PALABRAS CLAVE: Estabilometría, equilibrio, biomecánica, patrones.

ABSTRACT

The postural instability and body balance alteration, are signs commonly observed in patients with diseases associated with the musculoskeletal, visual, vestibular and proprioceptive systems, being the stabilometry the main clinical assessment study. However, it has not been established a standard or a quantitative pattern to classify healthy and pathological subjects based on the impaired balance level. Objective: The main objective of this study was to conduct a preliminary stabilometric analysis in 38 healthy subjects (19 women and 19 men) in order to identify a characteristic pattern of the position displacement. Methodology: This study was based on the Romberg's test. Three measurements were performed to each patient with open eyes (OA) and eyes closed (OC) stand over a force platform. Results: A characteristic pattern of the medio-lateral X and anteroposterior Y movement was identified, and remarkable stability on the vertical axis Z around the center of pressure. Limitations: However, because of the small sample size there was not found conclusive results related to Body-Mass-Index, sex or age. Originality: Despite, promising parameters were found for the evaluation of stabilometry in healthy young people, strengthening the objective tools of clinical assessment. Conclusion: This research identified common patient characteristics of normal movement, that could be considered as an objective standard for patient monitoring and treatment evaluation in patients with pathological balance disorders.

KEYWORDS: Stabilometry, balance, biomechanics, patterns.

Correspondencia

DESTINATARIO: Ing. Christian Cifuentes De la Portilla.

M.Sc. Ph.D (c)

INSTITUCIÓN: Ing. Universidad de Especialidades del
Espíritu Santo

DIRECCIÓN: Km. 2.5, vía La Puntilla, Samborondón,
Ecuador

TELÉFONO: (574) 354-9090

CORREO ELECTRÓNICO: cjcfuentesd@unal.edu.com

Fecha de recepción:

8 de agosto de 2016

Fecha de aceptación:

14 de diciembre de 2016

INTRODUCCIÓN

La identificación de patrones que caracterizan el estado normal o patológico resulta fundamental para el diagnóstico temprano de enfermedades en todas las áreas clínicas^[1]. Una de las áreas dedicadas a la búsqueda de estos patrones es la biomecánica. Sus esfuerzos se enfocan fundamentalmente en el establecimiento de patrones de movimiento característicos de personas sanas y en la comparación de estas con las variaciones generadas por trastornos patológicos que comprometen el sistema osteo-muscular^[1, 2, 3]. En ese sentido, es posible evaluar de forma más objetiva el estado y evolución de las patologías que afectan el sistema neuro-motor, siendo la alteración del equilibrio uno de los signos más comunes en la actualidad^[4], evaluado tradicionalmente mediante un estudio de estabilometría^[5, 6, 7].

La estabilometría es el estudio del equilibrio que permite analizar el control postural y su relación con la estabilidad en una posición bípeda^[8]. Este control involucra la integración de la información sensorial de la periferia corporal (sistemas visual, vestibular y propioceptivo)^[9, 10], en particular de los mecano-receptores de las plantas de los pies^[11, 12] y los receptores que informan sobre la posición corporal y orientación^[3]. Esta información sensorial es coordinada con modulaciones precisas en el torque del tobillo, a través de ajustes finos en la longitud de los flexores plantares, los cuales permiten compensar el balance del cuerpo de manera continua y espontánea mientras se mantiene una posición erguida^[2]. Esta técnica permite la cuantificación de las oscilaciones antero-posterior y lateral del cuerpo mientras el individuo permanece de pie sobre una plataforma de fuerza, mediante la asociación del desplazamiento del centro de presión (CP) con las asociaciones posturales. El registro es realizado mediante el cálculo de su posición en las coordenadas X y Y, que corresponden a la localización resultante de las fuerzas aplicadas en la superficie en contacto con los pies.

Algunos investigadores han reportado diferentes parámetros y metodologías para evaluar la estabilidad^[13, 5, 7, 14]. Entre ellos se destaca el estudio de Yasuhiro et al.^[15], en el cual analizaron pacientes con Parkinson mediante un estudio de estabilometría en dimensión fractal, obteniendo factores importantes para caracterizar la enfermedad. Por otro lado, el estudio de Sá Ferreira^[16], consideró el seguimiento del CP y su relación con los estado-kinesiogramas. Finalmente, en un estudio previo al presentado en este artículo, Rodríguez-Rubio et al.^[17] muestra el estudio de estabilometría en pacientes sanos de 18 a 65 años, sin embargo no presenta una caracterización del desplazamiento normal, que pueda ser considerado en la valoración clínica de los pacientes. Por lo tanto, aún no existe un consenso general relacionado con parámetros concluyentes que permitan diferenciar condiciones normales o patológicas relacionadas con el equilibrio.

Considerando lo anterior, en este artículo se muestran los resultados de un estudio piloto en el cual se evaluaron 38 pacientes sanos, con el objetivo de identificar un patrón estabilométrico que permita cuantificar el desplazamiento esperado de pacientes normales y pueda ser utilizado como parámetro de clasificación frente a casos patológicos. Para ello, se realizó el análisis del desplazamiento del CP en un laboratorio de análisis de movimiento tradicional, con base en la guía del *test de Romberg*.

La estructura del artículo consta de la sección *Metodología*, en la cual se explica el tipo de estudio realizado, presentando el diseño experimental y los parámetros analizados, seguido de la sección *Resultados*, en la cual se presentan los parámetros y datos más relevantes del estudio. La sección *Discusión*, en la cual se muestra la importancia del análisis de movimiento en la identificación de variaciones inter-sujeto que determinen un patrón característico normal y/o patológico y el uso actual de la estabilometría para el tratamiento y seguimiento de pacientes

con afecciones que alteran el equilibrio. Finalmente, la sección *Conclusiones*, en la cual se destacan los hallazgos más relevantes de este estudio piloto y las posibles aplicaciones de los resultados obtenidos en la evaluación y seguimiento de pacientes bajo análisis.

METODOLOGÍA

La finalidad del estudio piloto presentado, fue la identificación de parámetros o patrones de normalidad asociados al desplazamiento del CP en un grupo de personas (independientes del género) que puedan ser usados como factor en la identificación de trastornos del equilibrio en estadios tempranos o asintomáticos, basados en la aplicación del *test de Romberg*. El *test de Romberg* es un estudio tradicionalmente usado en neurología clínica, que permite valorar la propiocepción consciente en nervios periféricos. Para ello, el paciente debe permanecer en posición erguida, con ambos pies muy cercanos, con los ojos abiertos inicial-

mente, y luego con los ojos cerrados (ver Figura 1). Si el paciente sufre de una alteración del equilibrio muy pronunciada al cerrar los ojos, se considera como un claro indicio de anormalidad^[13]. Para llevar a cabo este estudio, se siguió el siguiente diseño experimental:

Diseño experimental

Se realizó un estudio de tipo transversal en el cual participaron 38 estudiantes sanos universitarios de Bogotá, Colombia (19 hombres y 19 mujeres) que no sufrían alteraciones del sistema vestibular neurológico o del sistema músculo-esqueléticos, puesto que cualquier alteración afectaría la caracterización de normalidad buscada. Además, no se tuvieron en cuenta estudiantes con lesiones de tejidos blandos, estudiantes que realicen ejercicio físico tres veces a la semana y deportistas, ya que se ha reportado que las personas con estas características presentan un comportamiento atípico en el patrón de estabilometría^[18, 19, 10].

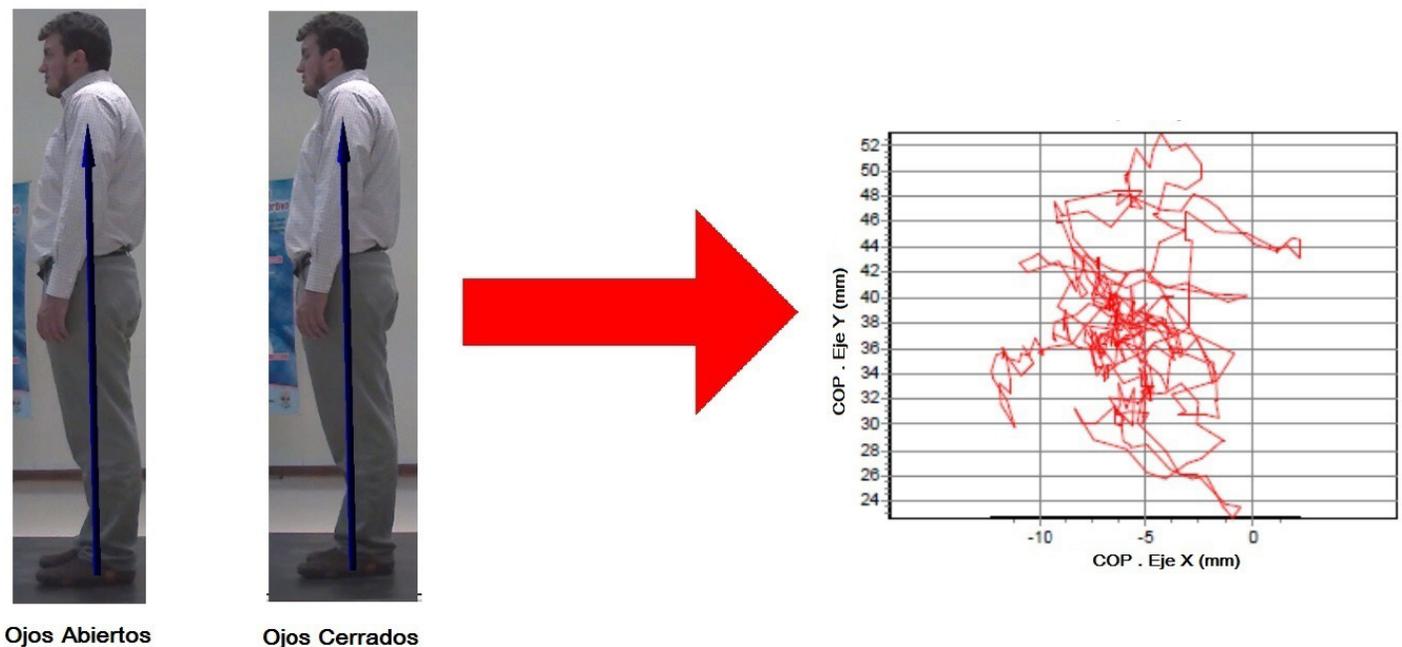


FIGURA 1: Esquema general de la prueba realizada siguiendo el test de Romberg. El vector sobre la imagen de la persona muestra la posición del centro de presión, cuyo desplazamiento sobre los ejes X y Y es presentado mediante un diagrama dispersión, tradicionalmente utilizado en los estudios clínicos de estabilometría.

Cada uno de los participantes firmó un consentimiento informado, mediante el cual aceptaron su participación en las pruebas realizadas y la investigación en curso, así como las condiciones de la misma.

El protocolo experimental fue implementado en un laboratorio de biomecánica digital. Fueron utilizadas 2 plataformas de fuerza (plataforma de fuerza digital BTS modelo P6000), con 4 transductores que miden tanto la fuerza vertical como medio-lateral y antero-posterior cuando el sujeto se para sobre ella.

Como se mencionó previamente, el estudio tiene como base fundamental el análisis de estabilometría aplicando el *test de Romberg*. Este test permite evaluar la propiocepción consciente en nervios periféricos basado en la premisa que afirma que una persona requiere al menos 2 de los siguientes sentidos, para mantener el equilibrio: Propiocepción, función vesti-

bular y la visión. Cada uno de los participantes fue ubicado sobre la plataforma, manteniendo una posición estable y erguida durante 30 segundos^[18].

Se realizaron dos pruebas con cada paciente:

- Sobre una superficie estable se le pide los sujetos mirar un punto fijo designado previamente manteniendo la mirada al frente (estudio etiquetado como OA). Para esta condición el sistema vestibular y somato-sensorial interactúa con el balance corporal ayudando a mantener su postura^[12].
- Sobre la misma superficie, pero esta vez con ojos cerrados (OC), se le pide al paciente mantener la posición estable. En esta condición, se inhibe al sujeto la percepción visual^[12], con lo cual se evalúan los demás sistemas sensoriales que participan en el equilibrio.

Parámetros analizados

Se realizaron tres mediciones, considerando para el análisis el promedio de las tres señales medidas, para reducir el error durante la captura.

Durante cada medición realizada, intencionalmente fue dejado un lapso de aproximadamente 30 segundos, para el procesamiento de los datos, donde el sujeto realizaba un marcha por fuera de la plataforma de medición. De esta manera, se evitó la alteración de las mediciones por reforzamiento y adaptación del paciente a la prueba.

La medición del ajuste postural permanente y la distribución de fuerzas necesarias para mantener la posición erguida, fue posible mediante el uso de plataformas de fuerza que miden el vector de reacción del piso. Su origen se obtuvo agrupado toda la presión plantar alrededor del centro de presión (CoP por sus siglas en inglés)^[20, 21], como puede observarse en la Figura 2.

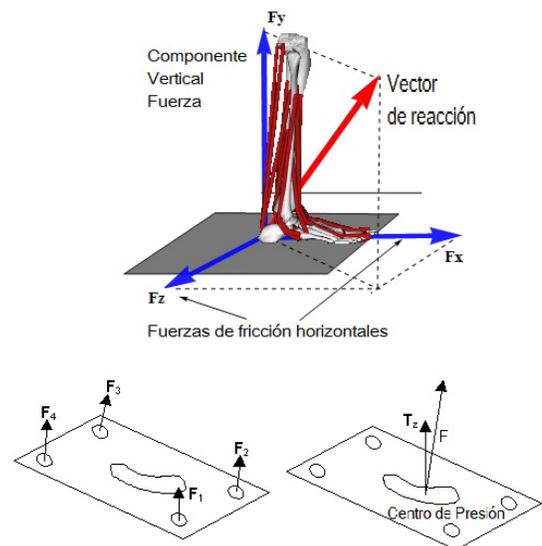


FIGURA 2: [Superior] Fuerzas de reacción del piso durante el apoyo normal en posición vertical estable; [Inferior] Posición de los sensores de fuerza en la plataforma y posición del centro de presión (CoP).

El vector de reacción del piso y el CP permitieron estimar el proceso de control del balance, directamente relacionado con el movimiento del centro de masa corporal^[9, 20, 21]. Su medición se realizó sobre la base de soporte y a lo largo de la dirección antero-posterior y medio lateral^[22]. De esta manera, las variaciones del CP fueron registradas y comparadas bajo distintos entornos^[13]. La medición de las variaciones en el eje antero-posterior -X- ó movimiento adelante-atrás y medio-lateral -Y- ó desplazamiento izquierda-derecha, así como la velocidad de estos desplazamientos y los desplazamientos del baricentro o centroide del cuerpo fueron considerados para medir la alteración postural y de balance.

RESULTADOS

Los participantes fueron estudiantes universitarios, cuyas características se resumen en la Tabla 1:

El promedio de desplazamiento del CP tanto en los ejes X como Y en el grupo estudiado, se resume en la Tabla 2. No fue considerado el desplazamiento sobre el eje Z (vertical), debido a que no se encontró una variación considerable (menores a 5 %), a pesar de variaciones forzadas.

TABLA 1: Resumen de las características generales de los 38 estudiantes (19 mujeres y 19 hombres) que participaron en el estudio piloto.

Variable	Promedio
Peso (Kg)	74 ± 10,89
Estatura (m)	1.69 ± 10,09
Edad (años)	20 ± 1,20
Indice de masa corporal – IMC (Kg/m ²)	26.015 ± 3,92

TABLA 2: Resultado promedio en el desplazamiento sobre los ejes X y Y tanto para las pruebas de ojos abiertos (OA) como ojos cerrados (OC).

Variable	Promedio
Rx OA	7,153 ± 3,4
Ry OA	7,853 ± 3,1
Rx OC	10,151 ± 4,2
Ry OC	9,499 ± 4,4

Como se puede observar, el desplazamiento tanto para los ejes X y Y presenta un comportamiento notable, que puede caracterizarse como óvalo al superponerse sobre los datos en un diagrama de dispersión, como puede observarse en la Figura 3.

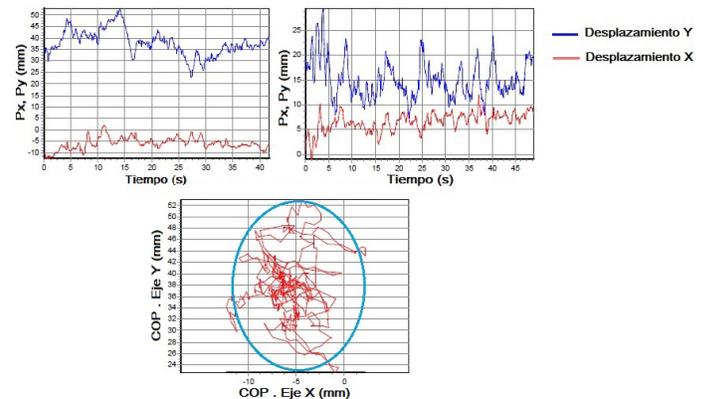


FIGURA 3: [Superior] Diagrama de los desplazamientos en el eje X y eje Y obtenidos del estudio. [Inferior] Diagrama de dispersión obtenido y patrón generado.

Posteriormente, para identificar la estabilidad y pertenencia de los datos al conjunto de normalidad obtenido, se realizó un análisis de medias marginales, considerando las siguientes métricas sobre los datos de desplazamiento del CP: RMS - Valor cuadrático medio, RSSQ - Sumatoria de los valores cuadrático medio, PEAK2PEAK - Valor pico a pico y PEAK2RMS - Valor pico a rms, con el fin de detectar variaciones en los estudiantes bajo estudio.

Los datos fueron obtenidos en las mediciones con ojos abiertos (OA) y ojos cerrados (OC) siguiendo la directriz del test de Romberg, buscando identificar valores que resulten estadísticamente significativos. Los resultados obtenidos en este estudio piloto se muestran mediante un análisis de medias marginales (Tabla 3), así como los límites inferior y superior del rango de datos.

TABLA 3: Análisis de medias marginales efectuado sobre el conjunto de datos, agrupando el análisis (OA) y (OC).

Variable	Media	Error tip.	Intervalo de Confianza 95 %	
			Límite inferior	Límite superior
RMS	227,68	5,08	217,69	237,68
RSS	2166,85	51,12	2066,27	2267,44
PICO-A-PIC	2,98	0,10	2,78	3,19
PICO-A-RMS	1,49	0,03	1,43	1,55

De la Tabla 2 se destacan los errores mínimos en los parámetros pico-a-pico y pico-a-rms. Lo anterior sugiere que estos parámetros presentan una media y desviación estándar acotada y con una baja varianza, por lo tanto podrían ser útiles en la clasificación grupos de personas normales o anormales, con base en las diferencias obtenidas caracterizadas por un rango claramente definido.

El valor pico-a-pico obtenido de la variación en los 3 ejes de referencia de la plataforma de fuerza, se muestra en la Figura 4 (superior). Adicionalmente, en la Figura 4 (inferior) se muestra la variación de las medias marginales para el valor pico-a-pico en los 3 ejes de la plataforma, encontrando diferencias estadísticamente significativas en cada uno de ellos.

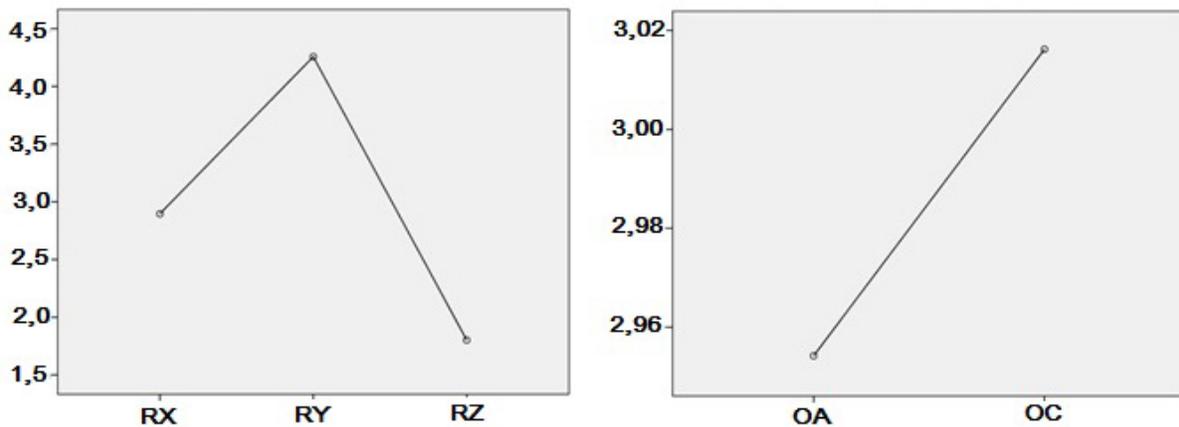


FIGURA 4: Medias marginales del parámetro PICO-A-PICO calculado sobre en los 3 ejes de referencia (Izq.) y las modalidades de estudio OA = Ojos abiertos, OC = Ojos cerrados (Der.).

Considerando los resultados anteriores, se evaluaron los dos procesos (OA y OC), con el fin de corroborar la versatilidad del parámetro y poder determinar si su uso es adecuado para el seguimiento, evaluación y clasificación de pacientes normales o con trastornos del equilibrio. Se identificaron diferencias en las 2 modalidades, reportando una media más alta con los ojos cerrados, lo cual es un resultado esperado de acuerdo a la revisión de la literatura. De acuerdo a lo anterior, se identificó que la variación en el eje Z no

resulta ser estadísticamente significativa, por lo tanto, no puede ser considerado como un factor que sea diferenciador.

Finalmente, se realizó un análisis de distribución de frecuencias, cuyos resultados se resumen en la Figura 5. Esto nos permite obtener el grado de pertenencia del grupo evaluado a un rango definido sobre los cuartiles 1 y 3 de la distribución, así como los datos atípicos en cada caso.

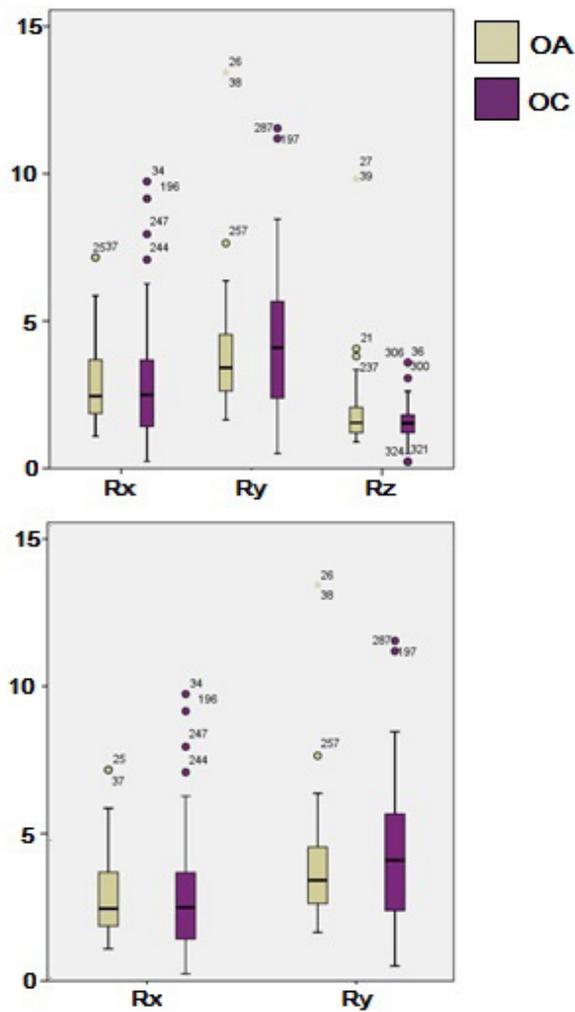


FIGURA 5: [Superior] Medias +/- SD del parámetro PICO-A-PICO de los ejes Rx, Ry y Rz de la plataforma; [Inferior] Medias +/- SD del parámetro PICO-A-PICO de los ejes Rx y Ry de la plataforma.

Usando un análisis de discriminación con la variable de agrupación (Rx y Ry), se obtuvo un 94.7 % dentro de los límites (promedio +/- ds). 5.3 % estuvieron fuera de estos límites, presentando un error bajo pero considerable de nuestro parámetro. En cuanto a Rx con ojos abiertos y Ry con ojos cerrados presentan un 78.95 % de pertenencia y 21.05 % de valores atípicos respectivamente. Adicionalmente se puede observar la variación del parámetro pico-a-pico en los 3 ejes de la plataforma, en las dos modalidades evaluadas de acuerdo al *test de Romberg*.

DISCUSIÓN

La estabilometría es una herramienta fundamental en la evaluación motora tanto en personas sanas^[12, 19, 14, 6] como en deportistas^[22] y en personas con trastornos del sistema neuro-musculo-esquelético^[5, 7, 23]. A pesar ser un método cuantitativo de valoración clínica, el diagnóstico y seguimiento de alteraciones del equilibrio continua siendo dependiente de la experiencia del especialista^[16, 17]. Esto muestra la necesidad de identificar parámetros objetivos, que permitan clasificar o valorar adecuadamente a pacientes con alteraciones del sistema propioceptivo en fases tempranas o asintomáticas.

En este artículo se muestran los resultados de un estudio piloto en sujetos sanos, orientado a identificar parámetros de normalidad que favorezcan el diagnóstico adecuado, así como el tratamiento y seguimiento adecuado de algunas enfermedades relacionadas con el equilibrio^[5, 7, 23]. Estudios recientes han proporcionado excelentes resultados en la evaluación de la estabilometría en pacientes con algún grado de afección del sistema propioceptivo y vestibular^[4, 24, 25, 26], sin embargo no se han reportado estudios que identifiquen patrones normales y/o patológicos del equilibrio.

El estudio encontró una relación importante entre la media de las variaciones pico-a-pico presentado principalmente sobre el eje Y de referencia de las plataformas de fuerzas empleadas, lo cual es una respuesta esperada de acuerdo a la literatura^[14, 6], como se evidencia en la Figura 5 [superior], considerando la variación del parámetro pico-a-pico, en las dos modalidades evaluadas de acuerdo al test de Romberg. Adicionalmente, se identificó que la variación en el eje Z no resulta ser estadísticamente significativa, por lo tanto, no es posible considerar la estabilidad de este parámetro como un patrón de normalidad en la evaluación del equilibrio, debido a que ante la presencia de alteraciones forzadas, su variación fue baja. En este sentido, estos resultados permiten afirmar que variaciones altas (fuera del rango definido

por la media identificada en este estudio) en el eje Y o en menor medida sobre el eje X, pueden interpretarse como un posible indicador de la presencia de un trastorno del equilibrio. Los resultados del análisis de medias marginales mostraron una estabilidad o pertenencia del 94.73 % del total de sujetos estudiados. Es decir, tan sólo el 5.27 % de las personas que fueron consideradas como “normales” mostraron valores en alguno de estos ejes fuera del rango identificado.

Posteriormente analizando detalladamente los ejes X y Y de la Figura 5 [inferior], a pesar de que son identificadas variaciones en las 2 modalidades, se observó como la variación sobre el eje Y muestra una mejor sensibilidad denotada por una media más alejada y con una varianza considerable, lo cual abre la posibilidad de considerar este rango de valores como un patrón orientado hacia la caracterización de personas jóvenes normales. Sin embargo, la confirmación de esta segunda caracterización del comportamiento observado en la variación de los ejes del CP, requiere de un análisis sobre con una muestra más grande, que incluya participantes con algunos trastornos del equilibrio conocidos.

CONCLUSIONES

Parámetros prometedores para la evaluación de la estabilometría en personas jóvenes sanas fueron encontrados mediante el estudio piloto de 38 sujetos universitarios. Los resultados de este estudio piloto permiten resaltar que variaciones sobre el eje Z - vertical, no pueden ser utilizados como un parámetro de clasificación, debido a la poca variación identificada, incluso bajo perturbaciones forzadas. La estabilidad evaluada en medias marginales y discriminación por variables de alrededor del 95 % sobre el eje Y y del 79 % sobre el eje X sobre el rango de normalidad definido, muestran la pertenencia de esta estrategia en la identificación de patrones característicos del estado de normalidad. Con esto, es posible fortalecer tanto la evaluación y como la clasificación de patologías. Sin embargo, debido al tamaño de la muestra, no se encontraron resultados concluyentes sobre las diferencias de índice de masa corporal, sexo o edad en el grupo de estudio. Por lo tanto, estudios con un mayor número de sujetos y con alteraciones en el balance del cuerpo son requeridos, para validar la hipótesis propuesta en este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Martínez F, Cifuentes C, Romero E. Simulation of normal and pathological gaits using a fusion knowledge strategy. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2013;10(1):1. DOI: [10.1186/1743-0003-10-73](https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-73)
- [2] Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. Human postural sway results from frequent, ballistic bias impulses by soleus and gastrocnemius. *The journal of physiology*. 2005;564(1):295-311. DOI: [10.1113/jphysiol.2004.076307](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.076307)
- [3] Horak FB. Postural control. In: *Encyclopedia of neuroscience*. Springer; 2009. p. 3212-3219. DOI: [10.1007/978-3-540-29678-2_4708](https://doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2_4708)
- [4] Springer BA, Marin R, Cyhan T, Roberts H, Gill NW. Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. *Journal of geriatric physical therapy*. 2007;30(1):8-15. DOI: [10.1519/00139143-200704000-00003](https://doi.org/10.1519/00139143-200704000-00003)
- [5] Silva RB, Costa-Paiva L, Oshima MM, Morais SS, Pinto-Neto AM, et al. Frequência de quedas e associação com parâmetros estabílo-métricos de equilíbrio em mulheres na pós-menopausa com e sem osteoporose. *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*. 2009. DOI: [10.1590/S0100-72032009001000005](https://doi.org/10.1590/S0100-72032009001000005)
- [6] Chiari L, Rocchi L, Cappello A. Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clinical Biomechanics*. 2002;17(9):666-677. DOI: [10.1016/S0268-0033\(02\)00107-9](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(02)00107-9)
- [7] De Araújo PP, De Moura Filho OF, Valenti VE, Gallo SM, Camargo MR, Say KG, et al. Stabilometric parameters analysis in children with visual disorder. *International archives of medicine*. 2014;7(1):1. DOI: [10.1186/1755-7682-7-1](https://doi.org/10.1186/1755-7682-7-1)
- [8] Tokita T, Maeda M, Miyata H. The role of the labyrinth in standing posture regulation. *Acta oto-laryngologica*. 1981;91(1-6):521-527. DOI: [10.3109/00016488109138537](https://doi.org/10.3109/00016488109138537)
- [9] Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & posture*. 1995;3(4):193-214. DOI: [10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)
- [10] Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction on balance. *Physical therapy*. 1986;66(10):1548-1550. PMID: 3763708
- [11] Morasso PG, Schieppati M. Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? *Journal of Neurophysiology*. 1999;82(3):1622-1626. PMID: 10482776
- [12] Hsu YS, Kuan CC, Young YH. Assessing the development of balance function in children using stabilometry. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2009;73(5):737-740. DOI: [10.1016/j.ijporl.2009.01.016](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.01.016)
- [13] Lanska DJ, Goetz CG. Rombergs sign development, adoption, and adaptation in the 19th century. *Neurology*. 2000;55(8):1201-1206. DOI: [10.1212/WNL.55.8.1201](https://doi.org/10.1212/WNL.55.8.1201)
- [14] Scoppa F, Capra R, Gallamini M, Shiffer R. Clinical stabilometry standardization: basic definitions- acquisition interval-sampling frequency. *Gait & posture*. 2013;37(2):290-292. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2012.07.009](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.009)
- [15] Yasuhiro M, Eiichi H, Yoshihiko S, Kenichi K, Ichiro K, Kenichi K, et al. Fractal dimension analysis of static stabilometry in Parkinsons disease and spinocerebellar ataxia. *Neurological research*. 2013. DOI: [10.1179/016164101101198613](https://doi.org/10.1179/016164101101198613)
- [16] de Sá Ferreira A, Baracat PJF. Test-retest reliability for assessment of postural stability using center of pressure spatial patterns of three-dimensional statokinesigrams in young health participants. *Journal of biomechanics*. 2014;47(12):2919-2924. DOI: [10.1016/j.jbiomech.2014.07.010](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.07.010)
- [17] Rodriguez-Rubio P, García-Tirado J, Guash LM, Ramírez-Vélez R, Bagur-Calafat C, Girabent-Farrés M. Stabilometric behaviour patterns under static conditions among healthy individuals aged 18 to 65 years old from functional data analysis. *Physiotherapy*. 2015;101:e1257-e1258. DOI: [10.1016/j.physio.2015.03.1162](https://doi.org/10.1016/j.physio.2015.03.1162)
- [18] Vieira TdMM, Oliveira Lfd. Equilíbrio postural de atletas remadores. *Rev Bras Med Esporte*. 2006;12(3):135-38. DOI: [10.1590/S1517-86922006000300005](https://doi.org/10.1590/S1517-86922006000300005)
- [19] Tarantola J, Nardone A, Tacchini E, Schieppati M. Human stance stability improves with the repetition of the task: effect of foot position and visual condition. *Neuroscience letters*. 1997;228(2):75-78. DOI: [10.1016/S0304-3940\(97\)00370-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(97)00370-4)
- [20] Jensen R, Doucet S, Treitz T. Changes in segment mass and mass distribution during pregnancy. *Journal of biomechanics*. 1996;29(2):251-256. DOI: [10.1016/0021-9290\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00042-9)
- [21] Fries EC, Hellebrandt F. The influence of pregnancy on the location of the center of gravity, postural stability, and body alignment. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 1943;46(3):374-380. DOI: [10.1016/S0002-9378\(43\)90431-4](https://doi.org/10.1016/S0002-9378(43)90431-4)
- [22] Agostini V, Chiamello E, Canavese L, Bredariol C, Knaflitz M. Postural sway in volleyball players. *Human movement science*. 2013;32(3):445-456. DOI: [10.1016/j.humov.2013.01.002](https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.01.002)
- [23] Oliveira C, Medeiros I, Frota N, GreTERS M, Conforto A, et al. Balance control in hemiparetic stroke patients: main tools for evaluation. *Journal of rehabilitation research and development*. 2008;45(8):1215-1226. DOI: [10.1682/JRRD.2007.09.0150](https://doi.org/10.1682/JRRD.2007.09.0150)
- [24] Wikkelsö C, Blomsterwall E, Frisén L. Subjective visual vertical and Romberg's test correlations in hydrocephalus. *Journal of neurology*. 2003;250(6):741-745. DOI: [10.1007/s00415-003-1076-2](https://doi.org/10.1007/s00415-003-1076-2)
- [25] Rossi C, Alberti A, Sarchielli P, Mazzotta G, Capocchi G, Faralli M, et al. Balance disorders in headache patients: evaluation by computerized static stabilometry. *Acta neurologica scandinavica*. 2005;111(6):407-413. DOI: [10.1111/j.1600-0404.2005.00422.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2005.00422.x)
- [26] Nardone A, Schieppati M. The role of instrumental assessment of balance in clinical decision making. *European Journal of physical and rehabilitation medicine*. 2010;46(2):221-237. PMID: 20485225