

**RELACIÓN ENTRE VARIABILIDAD  
INICIAL Y APRENDIZAJE EN UNA  
TAREA DE CONTROL POSTURAL  
UTILIZANDO UN BIOFEEDBACK VISUAL  
DEL CENTRO DE PRESIONES**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER:  
INFORME CIENTÍFICO**

**Máster Universitario en Rendimiento Deportivo y Salud**

**CURSO 2015-2016**

**TUTOR ACADÉMICO: Francisco David Barbado Murillo**  
**ALUMNO: Senén Valverde Martínez**

---

Valverde Martínez, S. (2016). Relación entre variabilidad inicial y aprendizaje en una tarea de control postural utilizando un biofeedback visual del centro de presiones. Elche: Universidad Miguel Hernández.

## RESUMEN

Tradicionalmente la variabilidad motora fue descrita como error o ruido causado por la función neuromuscular de carácter estocástico que debía ser minimizada para aumentar el rendimiento de la tarea. Sin embargo, lejos de ser considerada como un mero error, otras perspectivas la consideran necesaria para las adaptaciones motrices del individuo. En los últimos años, se ha analizado el papel de la variabilidad en las tareas de aprendizaje basadas en refuerzo mostrando que altos niveles de magnitud de la variabilidad motora está asociado a una mayor capacidad de aprender. Sin embargo, no está clara la relación entre variabilidad y aprendizaje en tareas de aprendizaje basadas en la percepción del error, en las cuales una mayor variabilidad está asociada a un peor rendimiento.

Por ello, la presente investigación pretende constatar esta hipótesis analizando la relación entre la variabilidad inicial y el aprendizaje de control postural en sedestación en la cual, gracias a feedback visual, debían ajustar su centro de presiones a una diana.

**Palabras Clave:** Aprendizaje Motor, variabilidad, magnitud, estructural, referencia visual.

---

---

Valverde Martinez, S. (2016). Relationship between initial variability and learning during a postural control task using a visual biofeedback of the center of pressures. Elche: Miguel Hernandez University.

### **ABSTRACT**

Traditionally, motor variability was described as error or noise caused by the neuromuscular function of stochastic nature that should be minimized to increase the task performance. However, far from being considered a mere error, other perspectives consider it's necessary for the motor adaptations of the individual. In the recent years, the role of variability in work-based learning reinforcement has been analyzed showing that high magnitude levels of motor variability are associated with a greater ability to learn. Nonetheless, in learning tasks based on the perception of error -in which greater variability is associated with poorer performance-, there is no clear relationship between variability and learning.

Therefore, this research aims to verify this hypothesis by analyzing the relationship between the initial variability and the learning of postural control during sitting position in which, thanks to visual feedback, the subjects had to adjust their center of pressure to a target.

**Keywords:** Motor learning, variability, size, structural, visual reference.

---

---

## Agradecimientos

*Antes de nada, me gustaría agradecer a mis familiares, casi familiares y amigos más cercanos todo lo que han dado hasta el momento hacía mi persona desde los 0 años hasta los 23 años que actualmente tengo, porque sin sus esfuerzos tanto económicos y/o personales hubiera sido más difícil llegar al lugar donde actualmente me encuentro, por ello muchas gracias.*

*Me gustaría agradecer en segundo lugar toda la ayuda y orientación que me ha prestado mi tutor Dr. Francisco David Barbado Murillo, el cual es un sobresaliente profesional en el campo de la investigación. Gracias a sus excelentes capacidades para explicar y enseñar, he podido comprender más detalladamente no sólo a redactar un trabajo de fin de máster o un artículo de investigación, sino lo que significa ser un buen estudiante, lo cual no sólo significa "estudiar", sino a desarrollarse como persona, vivir muchas experiencias y aprender lo máximo posible de lo que la vida ofrece. Tampoco olvidaré los seminarios realizados a principio de este Máster. Gracias a su manera de enseñar y a su gran personalidad, profesionalidad y dispuesto a ayudar en todo lo que puede, no sólo me he convertido en un admirador de sus investigaciones y "mundo" en el que se mueve, sino que ahora he descubierto una nueva motivación en la cual orientar mis esfuerzos, y también que es muy importante las ganas que una persona le pone a aquello que verdaderamente le gusta; y es verdaderamente un placer quedar en una tutoría y escuchar todo lo que dice y con el entusiasmo con el que lo hace (aunque sólo hayan sido unas pocas).*

*Al mismo tiempo tampoco me olvido de otros profesores de este máster, y mucho menos de los cotutores, como Carla y Álvaro, que durante las prácticas me han resuelto cualquier duda que he tenido, y a ayudarme en todo lo que fuera necesario, con confianza y sin ningún tipo de problemas.*

*Tampoco me quiero olvidar de otras personas muy especiales para mí, que aunque no las mencione, esas personas saben lo importantes que han sido a lo largo de estos años de mi vida como estudiante, en mi vida y que por supuesto lo seguirán siendo por muchos años; pues no sólo han sido importantes a nivel académico o educativo, sino sobre todo a nivel personal, pues con estas personas me siento realizado como persona; que desde luego he aprendido que es lo más importante en esta vida.*

*Para finalizar, basta con un gracias a todos aquellos que habéis formado parte de mi vida y que espero que sigáis siéndolo.*

Senén

---

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Método.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>9</b>



# 1. INTRODUCCIÓN

---

La Teoría general de sistemas complejos parte de la consideración de los fenómenos naturales como sistemas abiertos, dependientes del conjunto y para entender el funcionamiento y organización del sistema, es importante el estudio de la totalidad de las partes (Bertoglio y Johansen, 1982). Esta teoría ha sido recientemente aplicada al aprendizaje motor, y ha sido extrapolada al entrenamiento deportivo (Torrents, Balagué, Perl, & Schöllhorn, 2007). Gracias a esta nueva percepción, se ha podido resaltar el movimiento como individual y único del individuo, y no como una realización exacta de modelos teóricos “ideales”. Esto quiere decir, que cuando un individuo realiza un movimiento se producen cambios en la propia ejecución, que no son consideradas interferencias negativas, si no adaptaciones para una posterior ejecución técnica (Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell, & Michelbrink, 2009).

Algunos estudios biomecánicos han revelado que, en la repetición de un gesto por parte de un mismo deportista nunca se ejecutan realmente dos movimientos iguales, lo que habitualmente se conoce como variabilidad motora (Bauer y Schöllhorn, 1997; Sforza et al., 2002). Tradicionalmente la variabilidad motora ha sido descrita como "ruido" causado por la función neuromuscular de carácter estocástico que debe ser minimizado para aumentar el rendimiento de la tarea (Churchland, Afshar, y Shenoy, 2006; Harris y Wolpert, 1998; Seelig, 2010; Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank, y Quinn, 1979; Shmuelof, Krakauer, y Mazzoni, 2012). Sin embargo, en base a teorías como la de los sistemas dinámicos anteriormente planteada, actualmente la variabilidad, lejos de ser considerada como un mero error, se considera necesaria para las adaptaciones motrices del individuo, pudiendo adaptarse a más situaciones y estímulos (Button, Davids, y Schöllhorn, 2006). Así, las diferentes configuraciones de un movimiento “modelo” se interpretan como fluctuaciones donde se escoge la que mejor se adapte a los estímulos demandados, encontrando una solución óptima (Riley y Turvey, 2002; Zanone y Kelso, 1992).

En base a lo anterior, existen dos conceptos diferentes de variabilidad asociado a la forma de cuantificar la variabilidad. El primero es que la mejora de ejecución del movimiento es más eficaz cuando la magnitud de la variabilidad motora disminuye. Numerosas investigaciones hacen referencia a que, durante el proceso de aprendizaje, conforme los individuos se vuelven más expertos en una tarea, la mejora en su rendimiento va pareja a una disminución progresiva de la magnitud de la variabilidad (Caballero, Barbado, y Moreno,

2014; Stein, Gossen, y Jones, 2005). Esta concepción de la variabilidad cuantifica la magnitud, es decir el tamaño de los cambios en el movimiento y lo hace mediante herramientas lineales (Bruijn, Meijer, Beek y Van Dieen, 2013; Stergiou & Decker, 2011). Otra perspectiva, mostrada por estudios recientes, explica que un individuo experto es aquel que es capaz de adaptarse a los diversos condicionantes de la tarea y por tanto cambia su ejecución motriz de acuerdo con los mismos. Bajo este último enfoque, la variabilidad no se cuantifica únicamente en términos de magnitud sino en su forma, es decir en su estructura, utilizando herramientas no lineales tales como las herramientas de entropía o el análisis de las fluctuaciones eliminando la tendencia (“detrended fluctuation analysis o DFA”). Concretamente las herramientas de Entropía miden la predictibilidad de una señal, donde un mayor valor de entropía indica que un movimiento es menos predecible, mientras que un menor valor de esta indica que es más predecible (Barbado et al, 2012; Rhea et al, 2011). En un sentido similar se usa el DFA según el cual un mayor valor indica mayor autocorrelación (mayor predictibilidad), mientras que un menor valor muestra que es menos predecible, y su índice de autocorrelación disminuye (Amoud et al, 2007; Peng, Havlin, Stanley, y Goldberger, 1995). Bajo este enfoque, estudios posturográficos han mostrado, que aquellos individuos cuya estructura de la variabilidad en el desplazamiento de su centro de presiones (COP) es menos predecible (baja entropía y/o alta autocorrelación) resultaron ser individuos donde el rendimiento era más alto en tareas de equilibrio más complejas (Barbado et al, 2012; Manor et al, 2010).

En referencia a estudios sobre el papel funcional que tiene la variabilidad motora, aparece el concepto de aprendizaje motor, relacionado con la capacidad del individuo de realizar una tarea en base a la elección de una opción estable a lo largo del tiempo entre las distintas configuraciones que pueden realizarse (Schmidt y Lee, 2005). Este proceso se puede adquirir mediante el entrenamiento, con el fin de ejecutar correctamente un gesto motriz y con el mayor rendimiento posible (Gentile, 1972; Schöllhorn, Michelbrink, Welminski, y Davids, 2009). Por tanto, el aprendizaje motor ha sido definido como un cambio que se produce en la conducta motora del individuo, cuya ejecución motora se prolonga a lo largo del tiempo de modo estable, y que es producida por la práctica que realiza el individuo (Magill, 1993; Oña, Martínez, Moreno y Ruiz, 1999).

Algunos estudios que han analizado el papel de la variabilidad en las tareas de aprendizaje basadas en refuerzo han mostrado que altos niveles de magnitud de la variabilidad motora está asociado a una mayor capacidad de aprender (Wu et al, 2014). Un

estudio reciente en el cual los participantes eran sometidos a realizar una tarea de precisión manual sin ver los movimientos que efectúa su brazo, es decir, simplemente recibiendo información externa de si sus acciones realizadas eran correctas o por el contrario incorrectas. Este estudio constató que aquellos individuos que mostraban una mayor magnitud de la variabilidad en fases iniciales del aprendizaje aprendían más rápido, lo cual era interpretado como una mayor capacidad de exploración que permitía encontrar la solución motriz correcta más rápidamente. Sin embargo, no está clara la relación entre variabilidad y aprendizaje en tareas de aprendizaje basadas en la percepción del error, en las cuales una mayor variabilidad está asociada a un peor rendimiento. En relación a esto, una reciente publicación ha podido extraer que en tareas de aprendizaje por error (control postural) donde el individuo no percibe ninguna referencia de su posición, la variabilidad sí se relaciona con el aprendizaje (Barbado, Caballero, Moreside, Vera-García y Moreno, 2016). Debido a que la magnitud de la variabilidad estaba asociada a un menor control postural estos autores analizaron la estructura de la variabilidad con objeto de observar el papel funcional de la misma. Sin embargo, para estos autores, en este tipo de tareas de control postural en las que la propiocepción juega un papel fundamental, la estructura de la variabilidad parece más relacionada con la percepción del error del individuo que con su capacidad de exploración. Por tanto, surge otro interrogante acerca del papel de la variabilidad sobre el aprendizaje en tareas de error que utilicen diana, es decir faciliten la percepción del error cometido.

De este modo, se plantea si en una tarea basada en el error con referencia visual para el participante, existirá la relación entre la estructura de la variabilidad y el aprendizaje. Asimismo, es interesante conocer en qué medida esta relación se cumple en función del nivel de rendimiento de los individuos.

En definitiva, el objetivo de esta investigación es testar la hipótesis de que la estructura de la variabilidad está relacionada con una mayor capacidad de aprendizaje para lo cual aplicamos un protocolo de aprendizaje por error bajo el paradigma del asiento inestable utilizando referencia visual.



## 2. MÉTODO

### *Participantes*

Un total de 20 participantes, 12 varones ( $26.7 \pm 4.2$  años;  $71.7 \pm 6.6$  kg;  $177.1 \pm 6.4$  cm) y 8 participantes femeninos ( $25.5 \pm 7.9$  años,  $65.1 \pm 4.5$ kg,  $171.6 \pm 1.9$  cm), conformando el grupo control y participación en el estudio. Los participantes rellenaron un cuestionario sobre sus antecedentes médicos y deportivos, para evaluar el estado de salud y la práctica habitual de actividad física. Eran personas físicamente activas, algunas de ellas federadas y otras no.

Los criterios de exclusión en todos los grupos fueron:

1) tener antecedentes de alteraciones cardiorrespiratorias, musculoesqueléticas o de cualquier otro tipo que contraindiquen la práctica de ejercicio físico;

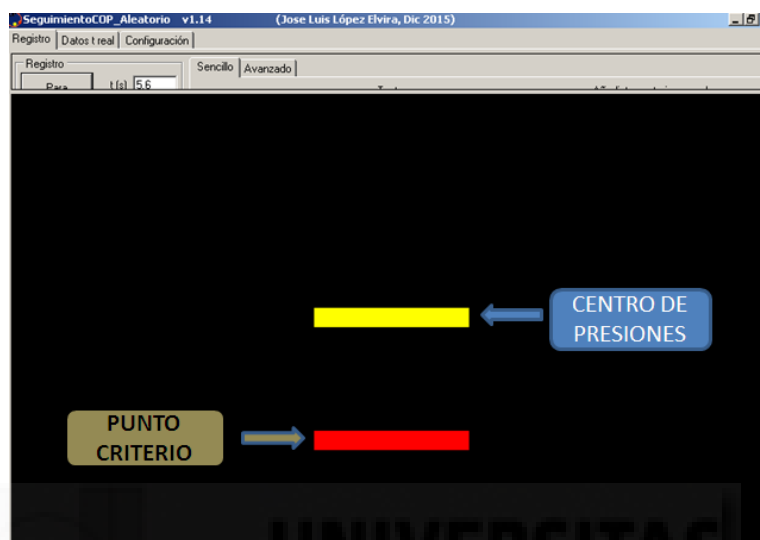
2) La existencia de algún tipo de alteración raquídea o dolor lumbar durante el estudio o en los 12 meses anteriores al mismo;

3) haber sido sometido a cirugía abdominal o lumbar. Los participantes fueron informados de los riesgos del estudio y firmaron un consentimiento informado antes de la investigación (Declaración de Helsinki de 1975 y 2000). El Comité de Ética de la Universidad dio su aprobación para la realización del estudio.

### *Instrumentos y procedimiento*

Para evaluar la relación entre la variabilidad motora y la capacidad de aprendizaje se utilizó una tarea de equilibrio en posición de sedestación, muy similar a la utilizada en estudios anteriores (Cholewicki et al., 2000; Elvira et al., en prensa; Lee y Granata, 2008; VanDieën et al., 2010a, 2010b, citado en Recio et al., 2013). Para la ejecución de las tareas de estabilidad sedente, se utilizó un asiento con una hemiesfera de resina (10 cm de altura por 35 cm de diámetro) creando una superficie inestable con tres grados de libertad de rotación (asiento inestable), con reposapiés regulable en altura para fijar la posición de las extremidades unida a la parte inferior del mismo (Figura 2). Para registrar el desplazamiento del centro de presiones y las fuerzas ejercidas durante el test de estabilidad sedente, se colocó el asiento sobre una plataforma de fuerzas (Kistler 9286AA, Zurich, Switzerland). Para poder llevar a cabo las distintas tareas de estabilidad sedente, se utilizó en primer un software de calibración de la plataforma de fuerza, y posteriormente “Seguimiento COP” creado por el investigador Elvira (2015) para registrar el centro de presiones a través de la proporción de

feedback visual en tiempo real a los participantes, permitiendo la visualización simultánea del centro de presiones en el eje de coordenadas Y, obteniendo directamente desde la plataforma, y el objetivo criterio que los participantes utilizaron como referencia para desplazar el centro de presiones a lo largo de diferentes trayectorias en la tarea dinámica (Figura 1), en el test planteado la distancia de la proyección con respecto al sujeto fue de 2,48 metros.



**Figura 1.** Pantalla proyectada del software que se creó para la realización de las distintas tareas de la prueba de estabilidad sedente.

Para la realización de la tarea, se instruyeron para que adoptaran una posición cómoda para ellos, con los brazos cruzados sobre el pecho y las manos apoyadas sobre los hombros. Además, se fijó con cintas la pelvis y cada una de las piernas (a la altura de los tobillos) a la prolongación del asiento. De esta manera, se limitó la movilidad articular de las extremidades para que las reequilibraciones fueran efectuadas exclusivamente por la musculatura del raquis. El reposapiés se ajustó para que las piernas se apoyasen en él y los tobillos, rodillas y cadera formaran un ángulo de 90°. Una barandilla de seguridad fue colocada delante del asiento inestable para proporcionar seguridad en caso de que los participantes perdieran el equilibrio (Figura 3).

Antes de la realización de los test, debían colocarse en la posición correcta mencionada, y posteriormente realizar durante los tres primeros días (martes, miércoles y jueves) de la semana consistía en 3 series de 70 segundos, con descanso de 60 segundos entre series. que corresponden al pretest, posteriormente 6 series de entrenamiento también de 70 segundos y 60 segundos de descanso entre series, y finalmente 3 series de posttest de 70 segundos de duración y 60 segundos de descanso entre series, conformando un total de 12 series de 70 segundos, y de 60 segundos de descanso entre cada serie. Estas mediciones, del

primer día al cuarto día se realizaron de forma consecutiva, con un descanso de 24 horas aproximadamente (Figura 2).

En los dos últimos días (viernes y lunes) se realizó solamente el retest que constaba de 3 series de 70 segundos y 60 segundos de descanso entre series, y postest con 3 series de 70 segundos y 60 segundos de descanso entre series. La diferencia con respecto a los anteriores días de mediciones, es que el penúltimo día y último día se llevaban un descanso entre cada día de 72 horas aproximadamente (Figura 2).

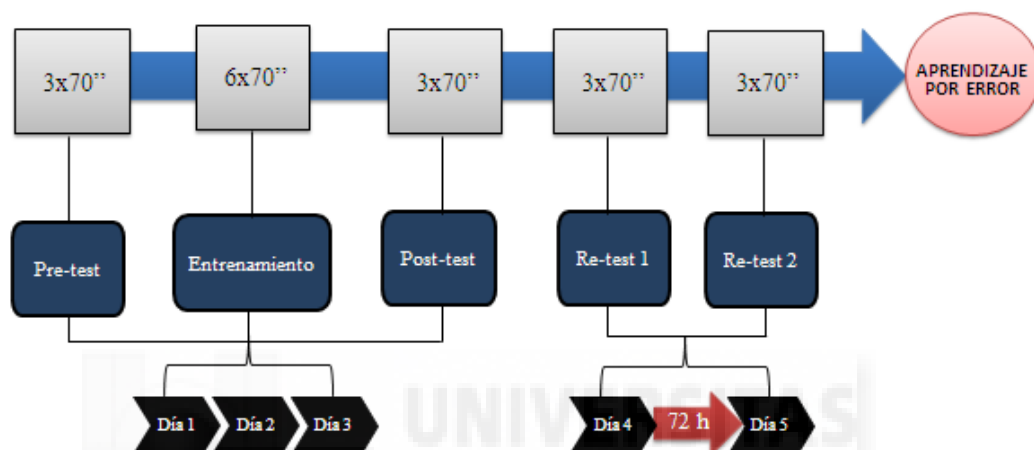


Figura 2. Cronograma del contexto experimental.

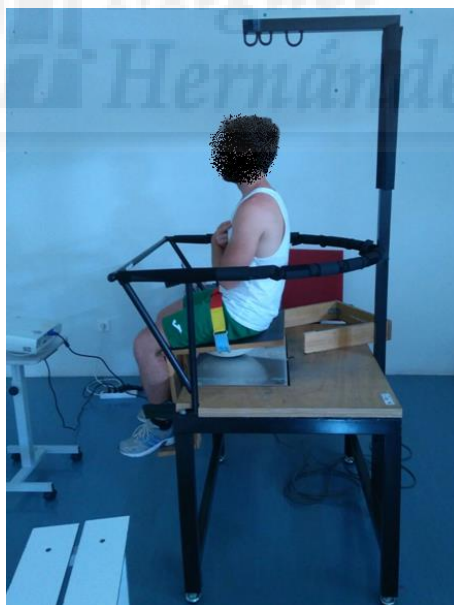


Figura 3. Participante realizando la tarea del paradigma del asiento inestable.

Los participantes realizaron diversas series de la tarea con una duración de 70 s por tarea, que consistieron en: Tarea de estabilidad dinámica mediante el paradigma del asiento inestable: el participante sentado sobre el asiento estable, se proporcionó retroalimentación visual, la cual consistía en que debía seguir distintas trayectorias en el eje antero-posterior

intentando hacer coincidir su centro de presiones con el punto criterio, mediante el feedback visual proporcionado por el software.

### *Análisis de datos*

Las fuerzas fueron registradas en la plataforma de fuerza a 1000 Hz, se submuestrearon a 20 Hz para su análisis. Se calculó con ello el centro de presiones en el eje antero-posterior.

A partir de dicha posición, se calcularon medidas lineales empleadas frecuentemente en biomecánica para valorar la estabilidad postural, como el error radial medio (ERM) del centro de presiones al punto criterio (Hancock, Butler y Fischman, 1995) Los primeros 5 segundos y los 5 segundos finales de cada serie se descartaron para evitar los efectos de la no estacionariedad debidos a la puesta en marcha de la prueba (VanDieën, Koppes y Twisk, 2010a).

El registro llevado a cabo fue en Pretest, Postest y Retest. A partir de estas medidas, se escogen las 2 mejores medidas de cada una y se comparan mediante el aprendizaje absoluto y relativo. La tasa de aprendizaje absoluto (ALR) se calculó mediante las diferencias de ERM entre el Pretest (ERMPRE) y el Postest (ERMPOST), mientras que el RLR se calculó respecto al rendimiento inicial del participante [ $100 * (ERMPRE - ERMPOST) / ERMPRE$ ].

Para la evaluación de la estructura de la variabilidad se utilizó Detrended fluctuation analysis (DFA). Este método para determinar la tendencia de una señal, y evaluar la presencia de correlaciones a largo plazo dentro de la serie de tiempo por un parámetro conocido como el índice de escala  $\alpha$  (Hu, Ivanov, Chen, Carpena y Stanley, 2001; Peng et al, 1994; Peng et al, 1995). Los valores de  $\alpha > 0,5$  significa que existe persistencia y correlación en la trayectoria actual,  $\alpha < 0,5$  expresa que la trayectoria actual varía y se invertirá, volviendo donde se originó. Y un valor de  $\alpha = 0,5$  es una señal no correlacionada (Roerdink, 2006). El centro de presiones ha obtenido en diferentes tareas valores de 0,5 a 1,5 (Wang y Yang, 2012), y son utilizados para evaluar la capacidad adaptativa del ser humano ante cambios posturales y al propio movimiento (Eke, Herman, Kocsis y Kozak, 2002; Wang y Yang, 2012).

### *Análisis estadístico*

La normalización de las variables fue evaluada mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. En primer lugar, se realizaron correlaciones

bivariadas de Pearson entre ERMPRE,  $\alpha$  PRE, ALR y RLR para evaluar el rendimiento y la variabilidad influencia inicial sobre la tasa de aprendizaje. En segundo lugar, para evitar el sesgo de rendimiento inicial en la tasa de aprendizaje, los participantes se agruparon utilizando un método de regresión lineal. Los participantes fueron ordenados de acuerdo a sus valores ERMPRE.

A continuación, se formaron tres grupos, que consistió en las puntuaciones más bajas, medias y altas RDPRE, con 10 participantes por grupo. A continuación, se realizó una regresión lineal entre RDPRE y  $\alpha$ PRE en cada grupo de rendimiento. Por último, los participantes fueron agrupados según sus puntuaciones residuales. Las puntuaciones residuales más altas de cada grupo se incluyeron en el grupo de "alta variabilidad auto-correlacionada" (HAV). Las puntuaciones residuales más bajas en cada grupo se incluyeron en el grupo de "baja variabilidad auto-correlacionada" (LAV).

Posteriormente se realizó ANOVA de una vía para medidas independientes para evaluar las diferencias ALR y RLR entre los grupos, con la estructura inicial de la variabilidad como un factor entre sujetos (grupos VHA y LAV). Asimismo, se utilizó un ANOVA mixto para analizar la evolución del ERM (pre y post) en función de la estructura de la variabilidad presentada (grupos VHA y LAV). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software de IBM SPSS 18.0, con un nivel de significación de  $p < 0,05$ .

---

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Amoud, H., Abadi, M., Hewson, D. J., Michel-Pellegrino, V., Doussot, M., & Duchêne, J. (2007). Fractal time series analysis of postural stability in elderly and control subjects. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 4(1), 1.
- Barbado, D., Sabido, R., Vera-Garcia, F. J., Gusi, N., & Moreno, F. J. (2012). Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG: complexity and performance. *Human movement science*, 31(5), 1224-1237.
- Bauer, H. U., & Schöllhorn, W. (1997). Self-organizing maps for the analysis of complex movement patterns. *Neural Processing Letters*, 5(3), 193-199.
- Bertoglio, O. J., & Johansen, O. (1982). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Editorial Limusa.
- Bruijn, S. M., Meijer, O. G., Beek, P. J., & Van Dieën, J. H. (2013). Assessing the stability of human locomotion: a review of current measures. *Journal of the Royal Society Interface*, 10(83).
- Button, C., Davids, K., & Schollhorn, W. (2006). Coordination profiling of movement systems. *Movement system variability*, 133-152.
- Caballero, C., Barbado, D., & Moreno, F. J. (2014). Non-linear tools and methodological concerns measuring human movement variability: an overview. *European Journal of Human Movement*, 32, 61-81.
- Cholewicki, J., Polzhofer, G.K., & Radebold, A. (2000). Postural control of trunk during unstable sitting. *Journal of Biomechanics*, 33(12), 1733-1737.
- Churchland, M. M., Afshar, A., & Shenoy, K. V. (2006). A central source of movement variability. *Neuron*, 52(6), 1085-1096.
- Eke, A., Herman, P., Kocsis, L., & Kozak, L. R. (2002). Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals. *Physiological measurement*, 23(1).
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A., Glass, L., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Mark, R. G., & Stanley, H. E. (2000). Physiobank, physiotoolkit, and physionet components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101(23).

- Hancock, G. R., Butler, M. S., & Fischman, M. G. (1995). On the problem of two-dimensional error scores: Measures and analyses of accuracy, bias, and consistency. *Journal of Motor Behavior*, 27(3), 241-250.
- Harris, C. M., & Wolpert, D. M. (1998). Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, 394(6695), 780-784.
- Herzfeld, D. J., & Shadmehr, R. (2014). Motor variability is not noise, but grist for the learning mill. *Nature neuroscience*, 17(2), 149-150.
- Hu, K., Ivanov, P. C., Chen, Z., Carpena, P., & Stanley, H. E. (2001). Effect of trends on detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, 64(1),
- Lee, H., & Granata, K. P. (2008). Process stationarity and reliability of trunk postural stability. *Clinical biomechanics*, 23(6), 735-742.
- Magill, R.A. (1993). Motor learning: Concepts and applications. Madison, Wisconsin: Brown and Benchmark.
- Manor, B., Costa, M. D., Hu, K., Newton, E., Starobinets, O., Kang, H. G., & Lipsitz, L. A. (2010). Physiological complexity and system adaptability: evidence from postural control dynamics of older adults. *Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1786-1791.
- Moreno, F. J., & Ordoño, E. M. (2014). Variability and practice load in motor learning. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 11(39), 62-78.
- Oña, A., Martínez, M., Moreno, J. & Ruiz, L.M. (1999). *Control y Aprendizaje Motor*. Madrid. Ed. Síntesis.
- Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17(1), 3-23.
- Peng, C. K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical review e*, 49(2), 1685.
- Peng, C. K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1995). Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 5(1), 82-87.
- Prieto, T. E., Myklebust, J. B, Hoffmann, R. G., Lovett, E. G. & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng*, 43(9), 956-966.



- Reeves, N. P., Everding, V. Q., Cholewicki, J. & Morrisette, D. C. (2006). The effects of trunk stiffness on postural control during unstable seated balance. *Experimental Brain Research*, 174(4), 694-700.
- Reynoso, S. R., Sabido R., Reina, R., & Moreno, F. J. (2013). Differential learning applied to volleyball serves in novice athletes. *Apunts. Educació Física i Esports*, (114), 45-52.
- Rhea, C. K., Silver, T. A., Hong, S. L., Ryu, J. H., Studenka, B. E., Hughes, C. M., & Haddad, J. M. (2011). Noise and complexity in human postural control: interpreting the different estimations of entropy. *PloS one*, 6(3).
- Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of motor behavior*, 34(2), 99-125.
- Roerdink, M., De Haart, M., Daffertshofer, A., Donker, S. F., Geurts, A. C. H., & Beek, P. J. (2006). Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Experimental brain research*, 174(2), 256-269.
- Schöllhorn, W. I., Mayer-Kress, G., Newell, K. M., & Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human movement science*, 28(3), 319-333.
- Schöllhorn, W., Michelbrink, M., Welminski, D., & Davids, D. (2009). Increasing stochastic perturbations enhance skill acquisition and learning of complex sport movements. En D. Araujo, H. Ripoll & M. Raab (Eds.), *Perspectives on cognition and action in sport* (pp.59-73). Hauppauge, NY: Nova Science.
- Schöner, G., Haken, H., & Kelso, J. A. S. (1986). A stochastic theory of phase transitions in human hand movement. *Biological cybernetics*, 53(4), 247-257.
- Schmidt, R.A. & Lee, T. (2005). *Motor Control and Learning. A behavioral emphasis.* Illinois. Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn Jr, J. T. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological review*, 86(5), 415.
- Shmuelof, L., Krakauer, J. W., & Mazzoni, P. (2012). How is a motor skill learned? Change and invariance at the levels of task success and trajectory control. *Journal of neurophysiology*, 108(2), 578-594.



- Seelig, J. D., Chiappe, M. E., Lott, G. K., Dutta, A., Osborne, J. E., Reiser, M. B., & Jayaraman, V. (2010). Two-photon calcium imaging from head-fixed *Drosophila* during optomotor walking behavior. *Nature methods*, 7(7), 535-540.
- Sforza, C., Turci, M., Grassi, G. P., Shirai, Y. F., Pizzini, G., & Ferrario, V. F. (2002). Repeatability of mae-geri-keage in traditional karate: a three-dimensional analysis with black-belt karateka. *Perceptual and motor skills*, 95(2), 433-444.
- Stein, R. B., Gossen, E. R., & Jones, K. E. (2005). Neuronal variability: noise or part of the signal?. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(5), 389-397.
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: is there a connection?. *Human movement science*, 30(5), 869-888.
- Torrents, C., Balagué, N., Perl, J., & Schöllhorn, W. (2007). Linear and nonlinear analysis of the traditional and differential strength training. *Education Physical Training Sport*, 3(66), 39.
- Tumer, E. C., & Brainard, M. S. (2007). Performance variability enables adaptive plasticity of 'crystallized' adult birdsong. *Nature*, 450(7173), 1240-1244.
- VanDieën, J.H., Koppes L.L.J., & Twisk, J. (2010a). Low-back pain history and postural sway inunstable sitting. *Spine*, 35, 812-817.
- VanDieën, J.H., Koppes, L.L., & Twisk, J.W. (2010b). Postural sway parameters in seated balancing; their reliability and relationship with balancing performance. *Gait Posture*, 31(1), 42-46.
- Wang, C. C., & Yang, W. H. (2012). Using detrended fluctuation analysis (DFA) to analyze whether vibratory insoles enhance balance stability for elderly fallers. *Archives of gerontology and geriatrics*, 55(3), 673-676.
- Wolpert, D. M., Diedrichsen, J., & Flanagan, J. R. (2011). Principles of sensorimotor learning. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 739-751.
- Wu, H. G., Miyamoto, Y. R., Castro, L. N. G., Ölveczky, B. P., & Smith, M. A. (2014). Temporal structure of motor variability is dynamically regulated and predicts motor learning ability. *Nature neuroscience*, 17(2), 312-321.

Zanone, P. G., & Kelso, J. A. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 403.

