

**PROTOCOLO DE CUANTIFICACIÓN DEL EFECTO DE
DIFERENTES NIVELES DE VARIABILIDAD AL PRACTICAR
SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA VARIABILIDAD INTRÍNSECA
EN TAREAS COORDINATIVAS**

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



Curso académico: 2024 - 2025

Alumna: Raquel Bernabéu Castelló

Tutora académica: Carla Caballero Sánchez

ÍNDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN	4
2. MÉTODO	5
2.1. Participantes	5
2.2. Materiales y protocolo de medida.....	6
2.3. Análisis de datos	8
2.4. Análisis estadístico	8
3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	8
4. FINANCIACIÓN.....	9
5. BIBLIOGRAFÍA.....	9



RESUMEN

Históricamente, la variabilidad intrínseca era considerada como un error del sistema. Sin embargo, en la actualidad se piensa que esta podría estar relacionada con la capacidad de adaptación y el aprendizaje motor del individuo. Es por ello que la variabilidad externa aplicada al practicar parece ser una herramienta útil en el aprendizaje de habilidades, aunque su efecto depende tanto de las características de la tarea como de las del sujeto. Por ello, este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo analizar el efecto que provocan diferentes niveles de variabilidad externa sobre el rendimiento y la variabilidad intrínseca al realizar una tarea de coordinación visomotora bidimensional, empleando variables como el porcentaje de éxito y el Detrended Fluctuation Analysis (DFA), para lo cual se utilizó una muestra de 20 participantes. Asimismo, se identificó la cantidad máxima de variabilidad externa que cada participante era capaz de tolerar de forma beneficiosa, con el fin de poderla utilizar en el futuro para la planificación de entrenamientos individualizados, orientados a optimizar el aprendizaje.

Palabras clave: variabilidad motora, práctica variable, tarea visomotora, DFA



1. CONTEXTUALIZACIÓN

El aprendizaje motor es una modificación o cambio en la conducta motora producido por la experiencia o el entrenamiento, que se mantiene estable en el tiempo, al realizar una habilidad, con el fin de mejorar el rendimiento y la eficiencia en la realización de la misma (Hafsoh y Neviyarni, 2021) y que, además, pueda ser transferible a nuevas situaciones.

La variabilidad ha sido un tema muy estudiado y lo sigue siendo, puesto que está presente en todo momento (Edelman, 1992) y es inevitable en los sistemas biológicos. Por eso, aunque el ser humano lo intente, es incapaz de repetir dos veces el mismo movimiento, a pesar de que con ambas repeticiones se consiga el objetivo que se perseguía. Bernstein (1967) empleó la expresión "repetición sin repetición", la cual hacía referencia a que cada movimiento es irrepetible.

Históricamente, la variabilidad se interpretó como un error del sistema causado por el ruido o fluctuaciones aleatorias de los mecanismos neuromusculares (Schmidt et al., 1979). Es decir, un obstáculo que impedía ser completamente consistentes. Sin embargo, hoy en día, es considerada esencial para el correcto funcionamiento del sistema, ya que podría estar relacionada con la capacidad de adaptación, favoreciendo así el control motor y el aprendizaje (Adami, Ofria y Collier, 2000; Davids et al., 2003; Goldberger, 1996; Latash, 1993; Moreno y Ordoño, 2010; Newell, 1993; Rabinovich y Abarbanel, 1998; Riley y Turvey, 2002).

Desde esta última perspectiva, el sistema nervioso central (SNC) tiene un importante papel en la regulación de la variabilidad motora, permitiendo explorar una amplia gama de configuraciones posibles que surgen de los múltiples grados de libertad (GLD) del sistema motor, con el objetivo de alcanzar soluciones óptimas (Barbado et al., 2012; Davids et al., 2003; Wu et al., 2014). No obstante, esa relación entre variabilidad y control motor hoy en día sigue siendo ambigua y no unidireccional, ya que parece depender, por una parte, de las características de la tarea y, por otra, de la naturaleza de la dinámica intrínseca del sistema (Caballero et al., 2016).

Por un lado, encontramos las características de la tarea, que ejercen una influencia significativa en la variabilidad del aprendizaje motor. Por ello, el concepto de la variabilidad ha sido muy investigado con el fin de optimizar el aprendizaje, habiendo sido abordado desde dos teorías: la Teoría de los Sistemas Dinámicos (DST) y la Teoría del Esquema Motor. En un principio, la variabilidad se fundamentó en la Teoría del Esquema Motor (Schmidt, 1975), la cual defendía la concepción de obtener un programa motor generalizado. Desde este enfoque, se llegó a la conclusión de que la práctica variable promovía la creación de un esquema que permitía adaptarse en contextos impredecibles. Más recientemente, apareció la Teoría de los Sistemas Dinámicos, la cual considera que las fluctuaciones y oscilaciones en el comportamiento motor a las que se ve sometido el individuo pueden dar lugar a una ampliación de opciones, que una persona podría emplear para satisfacer las necesidades que se le presentan en una tarea determinada (Davids et al., 2003). Existe una interdependencia entre el individuo, el entorno y la tarea.

En cuanto a los resultados obtenidos en los estudios sobre la práctica variable y en consistencia para el aprendizaje de habilidades motoras, se puede apreciar cómo algunos muestran resultados positivos para la práctica variable (Caramiaux et al., 2018 ; Dhawale, Smith y Ölveczky, 2017, Menayo et al., 2012 ; Urbán, Hernández-Davó y Moreno, 2012 ; Williams y Hodges, 2005). Sin embargo, en otros estudios, la práctica constante mostraba mejores resultados (Breslin et al., 2012 ; Chu, Sternad y Sanger, 2013; Edwards, 2012 ; Garcia-Herrero et al., 2016; Wulf, Lee y Schmidt, 1994; Zipp & Gentile, 2010) o parecidos a la práctica variable (Czyż, 2021 ; Reynoso et al., 2013 ; van den Tillaar & Marques, 2013 ; Willey & Liu, 2018), sobre todo cuando se trataba de habilidades motoras cerradas, es decir, aquellas que se dan en un entorno predecible. Por tanto, utilizar práctica consistente parece que podría ser beneficioso para tareas cerradas, aunque algunos estudios muestran que, hasta en este tipo de habilidades, la práctica en variabilidad podría llegar a ser más recomendada, puesto que se obtiene una mayor retención y transferencia (Asencio-Alonso, Gea García y Menayo Antúnez, 2021 ; Hernández-Davó et al.,

2014 ; Lee, Magill y Weeks, 1985 ; Shea y Kohl, 1990 ; Van Rossum, 1990 ; Williams y Hodges, 2005 ; Zetou y otros, 2014). Esto podría explicarse por el hecho de que, aunque el entorno de las habilidades cerradas pueda considerarse altamente predecible, ningún entorno lo es totalmente, a lo que habría que añadir la propia variabilidad intrínseca de cada individuo, razón por la cual no es posible obtener dos veces exactamente el mismo resultado (Dhawale, Smith y Ölyeczky, 2017; Faisal, Selen y Wolpert, 2008; Renart y Machens, 2014; Stein, Gossen y Jones, 2005).

Por otro lado, respecto a las características del aprendiz, se debe considerar el nivel de experiencia y de habilidad de los individuos, ya que un novato tiende a mostrar una mayor exploración de posibles soluciones motoras, debido a esa variabilidad innata y a la falta de experiencia (García-Herrero et al., 2016; Ranganathan y Newell, 2013), por lo que no sería necesario añadir variabilidad externa, ya que daría lugar a efectos negativos por exceso de variabilidad, dificultando la elección de la solución óptima (Wulf y Schmidt, 1994). Por el contrario, aquellos más hábiles utilizan su propia experiencia en vez de buscar nuevas soluciones motoras y es por ello por lo que es necesario aplicar variabilidad externa, de forma que se favorezca a esas estrategias exploratorias (Barbado et al., 2017), adaptándose así a las modificaciones que se presentan (Seifert, Button y Davids, 2013). En este sentido, aplicar cargas individualizadas teniendo en cuenta la variabilidad intrínseca de cada individuo parece que podría ser una buena opción (Caballero et al., 2024).

Esto podría estar íntimamente relacionado con la carga de práctica, ya que también presenta un papel crucial. Existe una relación en forma de U invertida entre la respuesta del organismo y la intensidad del estímulo (Ganzel et al., 2010), donde tanto estímulos débiles como excesivos pueden llegar a ser contraproducentes para el aprendizaje, puesto que los estímulos demasiado débiles no darán lugar a que se produzca una adaptación, y cargas excesivamente elevadas causarían efectos negativos o no deseados a corto, medio y largo plazo, disminuyendo el rendimiento y dificultando al aprendizaje (Moreno y Ordoño, 2015).

Si consideramos la variabilidad como carga de práctica, parece que, en estas condiciones, se desafía el equilibrio del sistema, dando lugar a la búsqueda de nuevas configuraciones del sistema en función de las características de las tareas, lo cual conllevará una pérdida de rendimiento (Moreno y Ordoño, 2015). No obstante, Ranganathan y Newell (2013) mostraron algunos de los efectos de la práctica variable, como una mayor flexibilidad del patrón motor, una mejor capacidad para generalizar y aplicar lo aprendido a nuevas situaciones o condiciones y el surgimiento de soluciones óptimas en función de las características del sujeto y las condiciones de la tarea. Sin embargo, tras analizar la literatura ya existente, parece necesario ajustar la carga de variabilidad a las características de cada sujeto, tratando de evitar una carga muy baja o muy alta, de forma que esta pueda dar lugar a efectos beneficiosos, ya sea a nivel de resultado o respecto a la manera en la que está afectando al comportamiento motor (Moreno y Ordoño, 2015). Por eso, el objetivo principal del presente trabajo es cuantificar el efecto que tiene la variabilidad externa sobre la variabilidad interna y el control del movimiento. En base a ello, se planteó la hipótesis de que sería posible encontrar la máxima cantidad de variabilidad extrínseca que cada participante puede soportar en una tarea coordinativa en concreto. Esto ayudaría a adecuar la carga de variabilidad al practicar en un futuro, con el fin de optimizar el aprendizaje.

2. MÉTODO

2.1. Participantes

En este estudio participaron, de forma voluntaria, veinte personas ($n = 20$) adultas, sin alteraciones neurológicas ni déficits de coordinación que les dificultara la realización de la tarea, de las cuales 12 fueron hombres y 8 mujeres (edad promedio = $23,45 \pm 3,85$ años).

Al comienzo de la primera sesión, cada participante firmó el consentimiento informado y se les informó que los datos se tratarían de forma anónima, así como del protocolo del estudio que se iba a llevar a cabo. Asimismo, el procedimiento experimental fue aprobado por la Oficina Universitaria de Ética en Investigación (TFG.GAF.CCS.RBC.241028).

2.2. Materiales y protocolo de medida

Para llevar a cabo el estudio, los participantes asistieron a dos sesiones, de aproximadamente media hora cada una, con una separación mínima entre ellas de 1 día, en el laboratorio de Control Motor del Centro de Investigación del Deporte (CID) ubicado en el Campus de Elche de la Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante.

Por una parte, cada sesión tenía como objetivo realizar un protocolo de búsqueda de Variabilidad Máxima (VM) en ajustes de coordinación, es decir, encontrar la máxima carga de variabilidad que cada sujeto era capaz de soportar de manera beneficiosa. Para ello, se aplicaron distintos porcentajes de variabilidad externa, con el fin de identificar en cuál de ellos cada participante realizaba un mayor número de ajustes efectivos para conseguir el propósito de la tarea.

Según la literatura, valores bajos en el Detrended Fluctuation Analysis (DFA) implican un mayor número de ajustes (Amoud et al., 2007; Wang & Yang, 2012). Por ello, se identificó el porcentaje en el cual se alcanzaba su DFA mínimo. Este DFA más bajo de cada participante se interpretó como su VM. Teniendo en cuenta estos datos, en teoría se podrían planificar entrenamientos individualizados aplicando variabilidad externa en función de ese VM obtenido de cada participante, con la finalidad de optimizar el aprendizaje de la tarea.

Por otra parte, el hecho de efectuar las dos sesiones mencionadas se hizo para comprobar si en ambas se alcanzaba, con el mismo porcentaje de variabilidad aplicada, el mayor número de ajustes, lo que permitió constatar la fiabilidad del procedimiento.

La tarea en cuestión consistía en realizar un juego de coordinación visomotora bidimensional utilizando el ratón de un ordenador, con la particularidad de que los ejes estaban invertidos, de modo que el desplazamiento del ratón en una dirección generaba el movimiento del cursor en la dirección opuesta en la pantalla.

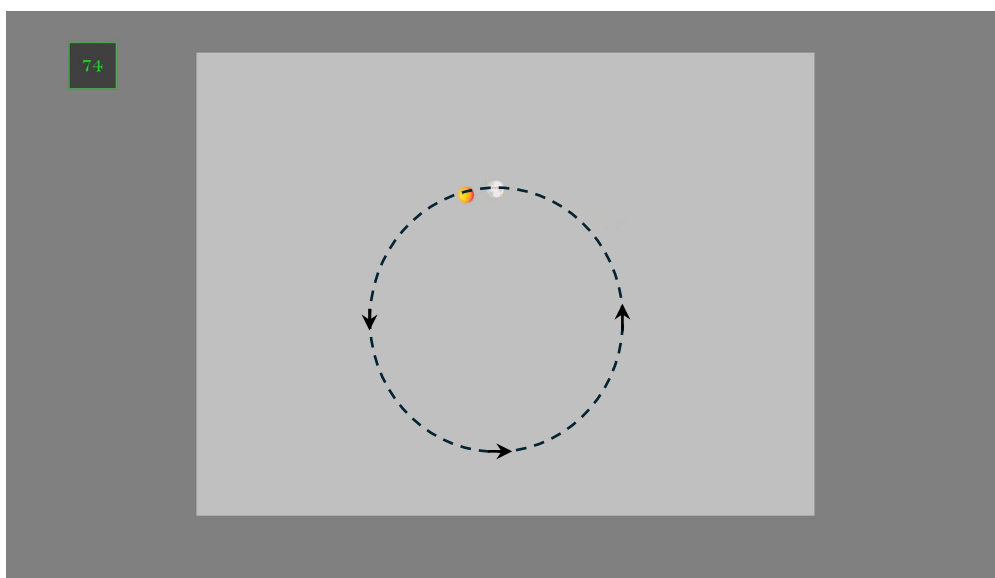


Figura 1. Tarea basal del juego de coordinación visomotora bidimensional

Para la ejecución de dicha tarea, tan sólo se precisaba un ordenador con ratón, con el programa de la tarea visomotora previamente instalado. Con el fin de agilizar la toma de mediciones, se instalaron en el laboratorio dos ordenadores de características similares (un HP ProBook 450 G10 equipado con un ratón HP wired con una sensibilidad de 1200 DPI y un Victus by HP Laptop 16-d0xxx con un ratón Asus UT280 y una sensibilidad de 1000 DPI), de manera que se pudieran llevar a cabo cada vez las mediciones a dos participantes de forma simultánea.

La primera parte de cada sesión se basó en la realización de 3 ensayos de familiarización con la tarea basal, con un 0% de variabilidad. Ésta consistía en seguir la trayectoria circular de una diana (figura 1), tratando de mantener el puntero el mayor tiempo posible sobre la diana. Para ello, se utilizó una interface manual y un software desarrollado en el laboratorio de Control Motor, el cual proporcionaba feedback de forma continua sobre el grado de ajuste del cursor con respecto a la diana en tiempo real.

Se estableció un rango a partir del cual, si se sobrepasaba el límite máximo, no contabilizaba para puntuar. Ese límite se calculó, para cada ordenador, de forma proporcional en función del tamaño de la pantalla. Para determinar si cada punto registrado se encontraba dentro del rango, se calculaba su distancia con respecto a la diana y, si se ubicaba dentro del rango establecido, se le asignaba un valor normalizado entre 0 y 1 en función de su proximidad al objetivo, siendo 1 la puntuación máxima en caso de coincidencia exacta con el objetivo y 0 si el punto se situaba fuera del rango. Para hallar el porcentaje de éxito de cada ensayo, el programa sumaba todos los puntos registrados y los dividía entre la puntuación máxima posible.

Una vez efectuados los 3 ensayos de familiarización, se procedió a ejecutar la segunda parte de la sesión. En ella, la variable que se manipuló fue el nivel de variabilidad externa (ruido) aplicada, considerada como la variable independiente. Se aplicaron 8 niveles de variabilidad externa con incrementos o decrementos del 5% entre ellos (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40%) sobre la tarea basal. Estos porcentajes se introdujeron en el programa de manera manual antes del comienzo de cada ensayo. Cabe destacar que, a medida que aumentaban los porcentajes de variabilidad sobre la tarea basal, los ajustes que cada individuo debía realizar eran más rápidos y exigentes.

Para la introducción de ruido, se parte de una serie temporal circular de 3240 datos de ruido blanco, la cual presenta una media de 0 y una desviación típica de 1. A esta serie temporal original se le va sumando una cantidad de ruido según el porcentaje especificado. Para ello, se extraen los datos equivalentes a ese porcentaje sobre los 3240 datos y se genera una nueva serie temporal, la cual se convierte de nuevo en una serie temporal de 3240 datos gracias a la interpolación lineal (método para estimar valores desconocidos entre 2 puntos). Esta nueva serie se suaviza para reducir cambios demasiados bruscos y, por último, se suma a la serie original, con el fin de obtener la trayectoria circular con el ruido introducido.

En total, cada una de las dos sesiones constó de 11 ensayos de 80", con un descanso de 60" entre ensayos. Por otra parte, para evitar que el orden de aplicación de los niveles de dificultad/variabilidad provocara aprendizaje o fatiga, se llevó a cabo un contrabalanceo en dicho orden de aplicación. Así, a la mitad de los participantes se les aplicó el orden de forma ascendente en la primera sesión y descendente en la segunda y a la otra mitad, se les aplicó el orden inverso, esto es, descendente en la primera sesión y ascendente en la segunda.

Para asegurar que todos los participantes se encontrasen en las mismas condiciones y no hubiera factores externos que les pudieran influir, se mantuvieron controladas las condiciones de luz, temperatura y familiarización de los participantes con el protocolo, para así poder reproducir las mediciones con el mayor control experimental.

2.3. Análisis de datos

Al finalizar cada ensayo, independientemente del porcentaje de ruido aplicado, el programa calculaba de forma inmediata dos variables: el porcentaje de éxito y el DFA. El porcentaje de éxito, el cual equivalía al porcentaje de acierto, se empleó como indicador de rendimiento. Esta variable hacía referencia al tiempo que conseguía estar el puntero dentro de un rango establecido con respecto a la diana, tal y como se ha explicado en el apartado 2.2. Por otro lado, para analizar la variabilidad intrínseca de cada participante, se llevó a cabo un análisis de las series temporales del error utilizando el DFA, una herramienta no lineal que nos permite medir la estructura de la variabilidad, es decir, la forma en la que cada participante era variable (Caballero et al., 2014). Esta herramienta se consideró un indicador interno del impacto de los distintos niveles de variabilidad aplicados sobre la variabilidad intrínseca y la capacidad del individuo de realizar ajustes. Asimismo, el impacto de los niveles de carga también se vio reflejado en el porcentaje de éxito, ya que esta variable igualmente se veía afectada.

Una vez recopiladas las diferentes variables, se extrajeron los valores del participante que obtuvo el valor mínimo y el del participante que alcanzó el valor máximo de cada ensayo en cada una de las variables medidas, lo que permitió establecer el rango en el que se encontraron los participantes. Además, también se calculó la media y la desviación típica.

2.4. Análisis estadístico

En primer lugar, se realizó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk con el objetivo de comprobar si la muestra presentaba una distribución normal y así poder determinar si utilizar pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas.

Posteriormente, se realizó una Prueba T, llevando a cabo una comparativa de medias repetidas con un mismo grupo midiendo en dos situaciones diferentes, es decir, ensayos con ruidos diferentes dentro de la misma sesión. Si los resultados eran significativos, esto indicaba que hubo un efecto significativo al realizar la tarea con esos dos porcentajes de ruido comparados.

Además, con la finalidad de comprobar la fiabilidad de la sesión 1 y la sesión 2, se realizó otra Prueba T, esta vez comparando entre sesiones, y se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para calcular las correlaciones. Para ello, no hubo un proceso de entrenamiento entre las sesiones y se asumió que los participantes se encontraban en las mismas condiciones en ambas ocasiones. De esta forma, se comprobó si había diferencias significativas entre los ensayos con una misma aplicación de ruido entre las dos sesiones, para analizar si la forma en la que este afectaba seguía la misma tendencia. Los intervalos de las correlaciones se interpretaron como: trivial ($<0,09$), pequeña (0,10-0,29), moderada (0,30-0,49), alta (0,50-0,69), muy alta (0,70-0,89) y casi perfecta ($>0,90$) (Hopkins et al., 2009).

El nivel de significancia para todos los análisis se estableció en $p < 0,05$.

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En relación con el protocolo, las impresiones de los participantes fueron diversas ya que, para algunos, les resultó muy entretenido, mientras que otros lo encontraron un poco tedioso, ya que la duración de cada ensayo les pareció demasiado extensa. Pude observar que el hecho de llevarlo a cabo de dos en dos les motivaba, posiblemente por tratar de conseguir mayor porcentaje de acierto que su compañero. Cabe destacar que, en cuanto al orden de aplicación de ruido de las sesiones, ascendente o descendente, los participantes consideraron más complejo realizar la sesión en orden descendente ya que, al finalizar los ensayos de familiarización, percibían un cambio demasiado brusco. Sin embargo, con el orden ascendente, manifestaron que la dificultad aumentaba de manera progresiva, por lo que les resultaba más sencillo adaptarse. De forma

sorpresiva, se constató que, para algunos sujetos, les resultó más sencillo el ensayo con un nivel de ruido de 5% que los ensayos de familiarización. Esto podría deberse a que dichos ensayos de familiarización, al no presentar variabilidad externa aplicada, pudieran resultarles más monótonos, lo cual pudo provocar cierta desmotivación al realizarlos, o simplemente el hecho de ejecutar 3 ensayos de familiarización fueran insuficientes para el aprendizaje de la tarea.

Este trabajo presenta una serie de limitaciones relacionadas con la muestra y el material utilizado. En cuanto a la muestra, la cantidad de participantes no fue demasiado elevada, por lo que no se pueden generalizar los resultados obtenidos. Además, la edad de los participantes podría ser otro aspecto que influyera en los resultados obtenidos, ya que es posible que estos variaran si se hubieran incluido en la muestra a personas de edad más elevada, quienes pueden presentar una menor familiarización con el manejo del ratón y una menor capacidad de reacción. Asimismo, cabe destacar que no se controlaron ciertos factores como la alimentación o el nivel de fatiga, los cuales pudieron repercutir en los resultados. Por otro lado, en lo que respecta al material, se utilizaron dos ordenadores y ratones de características similares, pero no idénticos, lo cual pudo dar lugar a pequeñas diferencias en la ejecución de la tarea.

Por todo ello, una posible propuesta de mejora para el protocolo sería realizarlo con una mayor muestra, incluyendo diferentes rangos de edades, además de controlar la alimentación y el nivel de fatiga de los participantes. Estas medidas podrían permitir generalizar en mayor medida los resultados y aumentar la validez interna, de forma que los resultados no se vean afectados por otras variables. También sería interesante que todos los participantes realizaran la tarea con el mismo ordenador y ratón y, en caso de optar por realizar los ensayos con varios ordenadores y ratones, con el fin de agilizar la toma de mediciones, se sugiere que sean de la misma marca y modelo, encontrándose así todos los participantes en las mismas condiciones.

En definitiva, este trabajo presenta un procedimiento novedoso, el cual no se había implementado con anterioridad y, aunque se puedan extraer ciertas conclusiones, sería conveniente profundizar en este enfoque en futuras investigaciones con la finalidad de verificar y consolidar los hallazgos obtenidos.

4. FINANCIACIÓN

Este Trabajo Fin de Grado es parte del proyecto de I+D+i PID2022-139600NB-I00, financiado por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Adami, C., Ofria, C., & Collier, T.C. (2000). Evolution of biological complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(9), 4463-4468. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.9.4463>
- 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), 12. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-4-12>
- Asencio-Alonso, M., & Gea García, G. M., Menayo Antúnez, R. (2021). Induced variability, speed of the ball, and learning backhand shot for amateur tennis players. *Journal of Sport and Health Research*, 13(1), 57-66.
- Barbado, D., Caballero, C., Moreside, J. M., Vera-García, F. J., & Moreno, F. J. (2017). Can be the structure of motor variability predict learning rate? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(3), 596-607. <https://doi.org/10.1037/xhp0000303>

- 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 of Movement Science*, 31(5), 1224-1237. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.01.002>
- Bernstein, N.A. (1967). Co-ordination and regulation of movements.
- Breslin G, Hodges N. J., Steenson A., Williams A. M. (2012). Constant or variable practice: recreating the especial skill effect. *Acta Psychologica*, 140(2), 154–157. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.04.002>
- Caballero, C., Barbado, D., Davids, K., & Moreno, F. J. (2016). Variations in task constraints shape emergent performance outcomes and complexity levels in balancing. *Experimental Brain Research*, 234(6), 1611-1622. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4563-2>
- 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(32), 61–81.
- Caballero, C., Barbado, D., Peláez, M., & Moreno, F. J. (2024). Applying different levels of practice variability for motor learning: More is not better. *PeerJ*, 12, e17575. <https://doi.org/10.7717/peerj.17575>
- Caballero, C., Moreno, F. J., Reina Vaíllo, R., Roldán Romero, A., Coves, Á., & Barbado Murillo, D. (2017). The role of motor variability in motor control and learning depends on the nature of the task and the individual's capabilities. *European Journal of Human Movement*, 38(38), 12–26.
- Caramiaux, B., Bevilacqua, F., Wanderley, M. M., & Palmer, C. (2018). Dissociable effects of practice variability on learning motor and timing skills. *PLOS ONE*, 13(3), e0193580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193580>
- Chu, V. W. T., Sternad, D., & Sanger, T. D. (2013). Healthy and dystonic children compensate for changes in motor variability. *Journal Of Neurophysiology*, 109(8), 2169-2178. <https://doi.org/10.1152/jn.00908.2012>
- Czyż, S. H. (2021). Variability of practice, information processing, and decision making—How much do we know? *Frontiers in Psychology*, 12, 639131. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.639131>
- Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports medicine*, 33(4), 245-260. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>
- Dhawale, A. K., Smith, M. A., & Ölveczky, B. P. (2017). The role of variability in motor learning. *Annual Review of Neuroscience*, 40(1), 479–498. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-072116-031548>
- Edelman, G. (1992). Brilliant air, bright fire: On the matter of the mind: Penguin Group.
- Edwards, C. A. (2012). Acquiring a Novel Coordination Movement with Non-task Goal Related Variability. *The Open Sports Sciences Journal*, 5(1), 59-67.
- Faisal, A. A., Selen, L. P. J., & Wolpert, D. M. (2008). Noise in the nervous system. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 292–303 <https://doi.org/10.1038/nrn2258>
- Ganzel, B.L.; Morris, P.A., & Wethington, E. (2010). Allostasis and the human brain: Integrating models of stress from the social and life sciences. *Psychological Review*, 117(1), 134–174. <https://doi.org/10.1037/a0017773>

- García-Herrero, J. A., Sabido, R., Barbado, D., Martínez, I., & Moreno, F. J. (2016). The load of practice variability must be regulated in relation with learner expertise. *International Journal Of Sport Psychology*, 47(6), 559-570.
- Goldberger, A.L. (1996). Non-linear dynamics for clinicians: chaos theory, fractals, and complexity at the bedside. *The Lancet*, 347(9011), 1312-1314. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)90948-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)90948-4)
- Hafsoh, S., & Neviyarni. (2021). ANALYSIS AND MASTER LEARNING MOTOR SKILLS: Array. *Literasi Nusantara*, 1(2), 95–106.
- Hernández-Davo, H., Urbán, T., Sarabia, J. M., Juan-Recio, C., & Moreno, F. J. (2014). Variable training: effects on velocity and accuracy in the tennis serve. *Journal Of Sports Sciences*, 32(14), 1383-1388. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.891290>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3–13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Latash, M.L. (1993). Control of human movement.
- Lee, T. D., Magill, R. A., & Weeks, D. J. (1985). Influence of Practice Schedule on Testing Schema Theory Predictions in Adults. *Journal Of Motor Behavior*, 17(3), 283-299. <https://doi.org/10.1080/00222895.1985.10735350>
- Menayo Antúnez, R., Moreno Hernández, F. J., Fuentes García, J. P., Reina Vaíllo, R., & Sebastián Damas Arroyo, J. (2012). Relationship between motor variability, accuracy, and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33, 45–53.
- Moreno, F.J., & Ordoño, E.M. (2010). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 22, 1-19.
- Moreno Hernández, F. J., & Ordoño, E. M. (2015). Variabilidad y carga de práctica en el aprendizaje motor. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 11(39), 62–78. <https://doi.org/10.5232/ricyde2015.03905>
- Newell, K.M., & Corcos, D. M. (1993). *Variability and motor control*: Human Kinetics.
- Rabinovich, M.I., & Abarbanel, H.D.I. (1998). The role of chaos in neural systems. *Neuroscience*, 87(1), 5-14. [https://doi.org/10.1016/S0306-4522\(98\)00091-8](https://doi.org/10.1016/S0306-4522(98)00091-8)
- Ranganathan, R., & Newell, K. M. (2013). Changing up the routine: intervention induced variability in motor learning. *Exercise and sport sciences reviews*, 41(1), 64-70. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318259beb5>
- Renart, A., & Machens, C. K. (2014). Variability in neural activity and behavior. *Current Opinion in Neurobiology*, 25, 211–220 <https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.02.013>
- Reynoso, S. R., Solana, R. S., Vaíllo, R. R., & Hernández, F. J. M. (2013). Aprendizaje diferencial aplicado al saque de voleibol en deportistas noveles. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 4(114), 45-52. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2013/4\).114.04](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2013/4).114.04)
- Riley, M.A., & Turvey, M.T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of motor behavior*, 34(2), 99-125. <https://doi.org/10.1080/00222890209601934>
- Ruano, C., Caballero, C., & Moreno, F. J. (2022). The effect of enhanced variability after performance stabilization through constant practice. *PeerJ*, 10, e13733. <https://doi.org/10.7717/peerj.13733>
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82(4), 225-260. <https://doi.org/10.1037/h0076770>

- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T., Jr. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological review*, 47(5), 415-451. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.86.5.415>
- Seifert, L., Button, C., & Davids, K. (2013). Key properties of expert movement systems in sport: an ecological dynamics perspective. *Sports Medicine*, 43(3), 167-178. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0011-z>
- Shea, C. H., & Kohl, R. M. (1990). Specificity and Variability of Practice. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 61(2), 169-177. <https://doi.org/10.1080/02701367.1990.10608671>
- 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. <https://doi.org/10.1038/nrn1668>
- Urbán, T., Hernández-Davó, H., & Moreno, F. J. (2012). Variabilidad cinemática en relación con el rendimiento en el saque en jóvenes tenistas. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 29, 45-53.
- Van Den Tillaar, R., & Marques, M. C. (2013). Effect of Specific versus Variable Practice upon Overhead Throwing Speed in Children. *Perceptual And Motor Skills*, 116(3), 872-884. <https://doi.org/10.2466/10.30.PMS.116.3.872-884>
- Van Rossum, J. H. A. (1990). Schmidt's schema theory: The empirical base of the variability of practice hypothesis: A critical analysis. *Human Movement Science*, 9(3), 387-435. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(90\)90010-B](https://doi.org/10.1016/0167-9457(90)90010-B)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2011.11.008>
- Willey, C. R., & Liu, Z. (2018). Long-term motor learning: Effects of varied and specific practice. *Vision Research*, 152(6), 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.03.012>
- Williams, A. M., & Hodges, N. J. (2005). Practice, instruction and skill acquisition in soccer: Challenging tradition. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 637-650. <https://doi.org/10.1080/02640410400021328>
- Wu, H. G., Miyamoto, Y. R., Gonzalez Castro, L. N., Olveczky, 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. <https://doi.org/10.1038/nn.3616>
- Wulf, G., Lee, T. D., & Schmidt, R. A. (1994). Reducing Knowledge of Results about Relative versus Absolute Timing: Differential Effects on Learning. *Journal Of Motor Behavior*, 26(4), 362-369. <https://doi.org/10.1080/00222895.1994.9941692>
- Wulf, G., & Schmidt, R. A. (1994). Feedback-Induced Variability and the Learning of Generalized Motor Programs. *Journal of Motor Behavior*, 26(4), 348-361. <https://doi.org/10.1080/00222895.1994.9941691>
- Zetou, E., Papadakis, L., Vernadakis, N., Derri, V., Bebetos, E., & Filippou, F. (2014). The Effect of Variable and Stable Practice on Performance and Learning the Header Skill of Young Athletes in Soccer. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 152(2), 824-829. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.328>
- Zipp, G. P., & Gentile, A. M. (2010). Practice schedule and the learning of Motor Skills in children and Adults: teaching implications. *Journal Of College Teaching & Learning (TLC)*, 7(2), 35-42.