



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Influencia de la Velocidad de Ejecución sobre la Variabilidad Motora en el Movimiento de Media Sentadilla

Trabajo de Fin de Máster

Autor: Jesús Jiménez Martínez

Tutores: Carla Caballero

Sánchez Rafael Sabido Solana

Curso Académico 2020/2021

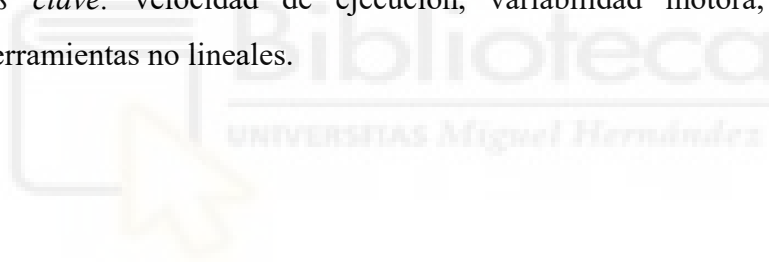
Máster en Rendimiento Deportivo y Salud

Centro de Investigación del Deporte

Resumen

El presente trabajo aborda el estudio de la variabilidad motora en el movimiento de media sentadilla. Para ello se llevó a cabo un protocolo de medición en el que se estudió cómo tres velocidades de ejecución diferentes (preferida, lenta o máxima) influía sobre la variabilidad motora. Se hipotetiza que las acciones a una velocidad preferida será donde mayor complejidad se observe. Por el contrario, cuando el movimiento sea constreñido por una demanda de velocidad alejada de la preferida (velocidad lenta o máxima) se espera que la complejidad de la variabilidad motora disminuya. Asimismo, el nivel de experiencia en el gesto deportivo también se espera que influya en la señal de la variabilidad, siendo esta más compleja en sujetos expertos que en principiantes. De confirmarse la relación de que la velocidad de ejecución afecta a la variabilidad motora, la variabilidad motora y en particular la estructura de esa variabilidad medida con herramientas no lineales podría ser una herramienta a considerar para el control y la prescripción del entrenamiento.

Palabras clave: velocidad de ejecución, variabilidad motora, complejidad, sentadilla y herramientas no lineales.



1. Introducción

El propósito del presente trabajo es abordar el estudio de la variabilidad motora en relación con el control motor y, en particular, su influencia en los movimientos con especial implicación de fuerza desarrollados a diferentes velocidades de ejecución.

El mundo que conocemos está repleto de sistemas cuyo comportamiento en el desplazamiento no responde a trayectorias regulares y predecibles. Este tipo de comportamiento es común a los sistemas complejos vivos. Como ya indicaba Bernstein (1967), en la naturaleza es imposible observar dos movimientos idénticos incluso en el hipotético caso de que ambos se desarrollen en condiciones y tareas similares. A título de ejemplo, cada una de las repeticiones de una serie del ejercicio de sentadilla será distinta y única respecto al resto.

La Psicología Ecológica y la Teoría General de Sistemas Dinámicos interpretan el ser humano como un sistema complejo de dinámica no lineal (Moreno & Ordoño, 2009). Así, la variabilidad motora parece jugar un papel fundamental a la hora de interpretar cómo el sistema nervioso central (SNC) explora el medio externo para adaptarse (Moreno & Ordoño, 2015). No obstante, esta ha sido considerada durante décadas como error o ruido que podía afectar de forma negativa al rendimiento motor. Sin embargo, gracias entre otras a la influencia de la Teoría General de Sistemas Dinámicos en el estudio del movimiento, el paradigma de la variabilidad como un elemento perjudicial ha sido cuestionado (Caballero et al., 2017).

Esta perspectiva influye en numerosos campos de conocimiento como la salud, donde algunos autores han propuesto que la variabilidad en los patrones motores no debe ser considerada como un indicador de patología o lesión (Davids et al., 2003), como sí aprecian las teorías tradicionales. Desde este punto de vista, la variabilidad motora supone una herramienta imprescindible para el ser humano a la hora de adaptarse y responder a los requerimientos del medio y sus limitaciones.

Las variaciones que se producen durante el movimiento se han relacionado con la capacidad para autoorganizar los componentes que integran el cuerpo humano (Wallace, 2016). Estas variaciones pueden ser estudiadas desde su magnitud y estructura, lo cual facilita la comprensión de su control y aprendizaje (Caballero et al., 2017). En el caso primero, la magnitud es entendida como la cantidad de variabilidad que se produce durante un movimiento. En el caso segundo, la estructura u organización temporal

describe cómo cambia esta variabilidad. Estas variaciones no deben interpretarse como ruido, ya que poseen un origen determinístico y bien diferenciado del ruido (Stergiou, 2004). Según este autor, tradicionalmente el estudio de la variabilidad ha estado enfocado exclusivamente a su cantidad, lo cual no revelaba su organización por unidad de tiempo. Este hecho genera un sesgo en la información, lo cual hace que la interpretación de la señal sea incompleta (Harbourne & Stergiou, 2009). Por añadidura, algunos autores han propuesto que la variabilidad motora es óptima cuando su estructura tiene una característica caótica, por lo que la importancia del uso de herramientas no lineales para su análisis y cuantificación adquiere una gran relevancia (Caballero et al., 2014). La inclusión de estas herramientas en el estudio del movimiento humano ha permitido aplicar al estudio del movimiento humano conceptos que surgen de la física dinámica no lineal. Uno de ellos es la complejidad, entendiendo que un sistema será más complejo conforme mayor sea el número de configuraciones que pueda adoptar, las cuales son reflejo de un elevado número de grados de libertad. En este sentido la complejidad se ha identificado con lo imprevisible que son las fluctuaciones de un sistema o señal (Lipsitz & Goldberger, 1992).

En línea con la estructura de la variabilidad, parece que cuanto menos previsible es una señal fisiológica (más compleja), mayor será la capacidad del sistema para adaptarse al entorno (Caballero et al., 2017; Zhou et al., 2013). No obstante, según algunos autores, una estructura de la variabilidad muy compleja puede tener efectos tan negativos como una estructura poco compleja, por lo que parece que un sistema eficiente en términos de complejidad será aquel que consiga obtener unos valores intermedios similares a los de una U invertida (Lipsitz & Goldberger, 1992). Esta zona, que se encuentra entre la predictibilidad y la aleatoriedad, se relaciona con estados de salud y rendimiento óptimos (Goldberger et al., 2002).

La variabilidad motora depende en gran medida de las características del individuo y la naturaleza de la tarea a desempeñar (Caballero et al., 2017). Con relación a las capacidades del individuo para adaptarse, el SNC es el encargado de regular el sistema motor y ofrecer amplias soluciones a las necesidades del entorno y la tarea. La variabilidad motora juega un papel fundamental en este sentido, facilitando la exploración de numerosos patrones motores con los que lograr una solución eficaz al problema (Wu et al., 2014). No obstante, para una misma tarea esas soluciones pueden ser infinitas, ya

que dependen intrínsecamente de las características sistémicas del individuo, y por lo tanto, variarán en función de quién realice la tarea (Harbourne & Stergiou, 2009).

Con relación a la fuerza, es necesario considerar que esta también está ligada a una serie de determinantes fisiológicos internos que influirán en mayor o menor medida en dicha manifestación (González-Badillo & Ribas, 2018). La correcta integración de estos constreñimientos relativos al sujeto, junto a otros relacionados con la tarea y el entorno es imprescindible para la eficiencia y mejora del rendimiento deportivo (Buckner et al., 2019; Caballero et al., 2017). De esta manera, el potencial efecto de una carga externa dependerá de la situación y el estado de forma en el que se encuentre el sujeto (Martorelli et al., 2020). Algunos autores sostienen que la intensidad es el criterio del entrenamiento más determinante en la dosificación y control de la carga. La intensidad se define como el grado de esfuerzo desarrollado al ejecutar una unidad de acción (repetición) en un ejercicio (González-Badillo & Ribas, 2018), y puede expresarse de distintas formas (porcentaje del 1RM, densidad, etc.). Dado que de la intensidad dependen los efectos del entrenamiento y las exigencias neuromusculares vinculadas al mismo, algunos autores han propuesto que la velocidad de ejecución puede ser una variable que permita dosificar y controlar el entrenamiento, ya que parece ser la forma más precisa para definir la intensidad (González-Badillo & Ribas, 2010).

Hay trabajos que han utilizado la velocidad del movimiento para medir la intensidad del entrenamiento. Sabiendo que la velocidad de ejecución en tareas de fuerza tiene una influencia relevante, y que la complejidad de la variabilidad motora se ha relacionado con el estado del sistema y su capacidad de adaptación, parece adecuado entender la posible influencia de la velocidad de ejecución sobre la variabilidad motora. A propósito de lo expuesto, la variabilidad motora ha sido estudiada en ejercicios isométricos en los que se exige mantener un ángulo fijo (Duan et al., 2018; Guzmán-González et al., 2020; Norheim et al., 2019; Pethick et al., 2019). Parece que cuando el esfuerzo era llevado hasta el agotamiento (aparición de la fatiga) se producía una disminución de la complejidad de la variabilidad de la fuerza, reflejado en valores menores de entropía muestral y entropía aproximada (Lin et al., 2014; Pethick et al., 2019). Además, la pérdida de complejidad de la señal no solo se observa con el incremento de la fatiga en ejercicios isométricos, sino que también lo hace con el aumento del tiempo en el que se aplica una fuerza dada (Lin et al., 2014).

Tras el estudio de ejercicios en régimen de contracción isométrica, algunos autores también han estudiado la variabilidad de la fuerza en ejercicios dinámicos relacionados con la salud. Gracias a ello, se observó que una disminución de la capacidad para aplicar fuerza en la zancada de paso se relacionaba con una mayor predictibilidad de la señal (menor complejidad) (Craig et al., 2017; Tafti et al., 2020). Strote et al. (2020) observaron que el aumento de los requerimientos de fuerza se relacionaba con un aumento de la complejidad de la variabilidad. Además, parece que con la edad y la disminución de fuerza, la entropía aproximada es menor en las señales de fuerza de adultos mayores respecto a adultos más jóvenes (Norheim et al., 2019).

En el campo del rendimiento deportivo, algunos trabajos estudiaron tareas donde se utilizaba una carga externa junto a un objeto adicional específico de la modalidad deportiva. Cuando la resistencia a vencer era similar, la complejidad fue superior en la tarea que incluía el objeto adicional (constreñimiento) (Fernández-Valdés et al., 2020; Moras et al., 2018). De la misma forma, en aquellos gestos donde la velocidad de ejecución no difería significativamente una de la otra, la pérdida de complejidad fue superior en los movimientos sin constreñimiento. Esta pérdida de complejidad puede explicarse porque el SNC no necesite implicar una mejor coordinación de distintos patrones motores en el movimiento sin el objeto (Van Emmerik & Van Wegen, 2002).

Los estudios incluidos en la revisión de este trabajo sostienen la importancia del análisis de la variabilidad motora en el desarrollo de ejercicios con requerimientos de fuerza. La revisión de la literatura señala que las investigaciones realizadas para comprender cómo el entrenamiento de la fuerza influye sobre la variabilidad motora se han basado principalmente en los ejercicios de fuerza máxima en acciones isométricas. De esta forma, las tareas de fuerza dinámica han sido menos estudiadas por la dificultad que implica la adaptación de las herramientas no lineales a este tipo de acciones.

En virtud de todo ello, por la relación entre la estructura de la variabilidad y la capacidad para la autoorganización del sistema (Wallace, 2016) se espera que la complejidad de la variabilidad motora incremente en situaciones en las que los deportistas tengan mayor capacidad para hacer correcciones. Se hipotetiza que las acciones en las que los deportistas muevan la carga a una velocidad preferida será donde mayor complejidad se observe. Por el contrario, cuando el movimiento sea constreñido por una demanda de velocidad alejada de la preferida (velocidad lenta o máxima) se espera que la complejidad de la variabilidad motora disminuya. Asimismo, el nivel de experiencia

en el gesto deportivo también influirá en la señal de la variabilidad, siendo esta más compleja en sujetos expertos que en principiantes.

El presente estudio tiene el objetivo de conocer cuál es la influencia de la velocidad de ejecución sobre la estructura de la variabilidad motora durante la sentadilla libre en sujetos principiantes y expertos. Para ello, se estudiará cómo una velocidad de ejecución lenta, rápida o preferida del sujeto influye en este supuesto.

2. Metodología

Participantes

La muestra estuvo conformada por un total de 21 participantes (edad $24,57 \pm 3,22$), 11 hombres y 10 mujeres, de los cuales seis hombres y una mujer eran expertos, y el resto eran inexpertos en el entrenamiento de fuerza. Las condiciones que debía cumplir el participante para ser considerado experto fue tener al menos 2 años de experiencia en el entrenamiento de la fuerza y presentar valores de fuerza relativa (RM/masa corporal) de 1.6 para la media sentadilla (Comfort & McMahon, 2015). En caso contrario, el participante fue incluido en el grupo de inexpertos.

Protocolo

Los participantes fueron citados en tres días diferentes con el fin de garantizar las 72 horas de descanso de actividad física. El espacio en el que se desarrolló el diseño de investigación mantuvo una temperatura de 20° y una humedad entre el 30-40%.

En el primer día, se les realizó una valoración de aspectos antropométricos (peso y talla), se les explicó detalladamente los protocolos a realizar y finalmente rellenaron un informe de consentimiento avalado por la Oficina de Investigación Responsable (código DCD.RSS.02.19) de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Todos se comprometieron a no tomar ayudas ergogénicas durante las 72 horas previas a las sesiones, así como a no realizar ningún otro tipo de actividad que pudiera interferir en los resultados del estudio.

El primer día los participantes realizaron un test para determinar la repetición máxima (RM) en la tarea de media sentadilla. Antes de realizar el test de RM, los participantes realizaron un calentamiento de 15 minutos focalizado en tres partes:

activación cardiorrespiratoria, movilidad articular, y ejercicios de la zona corporal central y de calentamiento de media sentadilla sin carga. Tras ello, los participantes llevaron a cabo series incrementales hasta alcanzar la carga apropiada con la que estimar el RM. Para no tener que alcanzar el peso máximo, los tests de RM de media sentadilla se realizaron valorando las ejecuciones con encoder lineal (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech, Murcia, Spain) que permitía determinar el RM al alcanzar velocidades próximas al RM, pero sin llegar a la ejecución de ese test de manera maximal (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). El tiempo de descanso entre series fue de cinco minutos con el fin de garantizar una recuperación completa.

En los dos días restantes, los participantes realizaron una sesión que consistía en tres series. En la primera de ellas, las repeticiones fueron ejecutadas a la velocidad que seleccionaba el participante (“velocidad preferida”). Sin embargo, la carga correspondiente al 50% del RM fue repetida en dos series más donde se condicionó la velocidad de ejecución del participante, siendo una de las series realizada a velocidad lenta (50% de su “velocidad preferida”) y otra a máxima velocidad manteniendo el patrón de ejecución.

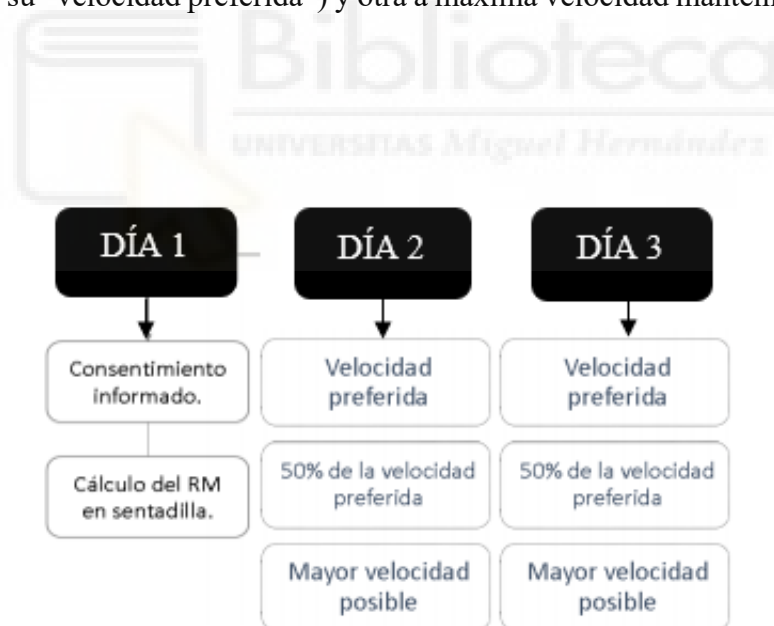


Figura 1. Procedimiento de medida.

Toma de datos

Las series con distintas velocidades de ejecución fueron registradas mediante tres dispositivos inerciales STT-IWS (STT Systems, San Sebastián AND, España) ubicados dos en el propio sujeto (sacro y pierna). Además, se colocó un cuarto sensor en una vara

para sincronizar los registros con la plataforma de fuerzas. Los dos últimos fueron colocados a nivel de la vértebra L3, ubicación teórica del centro de masas (Tzagarakis et al., 2010), y en la parte externa de la pierna, a una distancia media entre la rodilla y el maléolo externo. Además, se complementó el registro con la información proveniente de una Plataforma de fuerzas Kistler 9287BA (Kistler Goup, Winterthur, Suiza). La frecuencia de registro utilizada fue de 100 Hz.

Asimismo, las variables del estudio fueron las siguientes:

Variables independientes:

La velocidad de ejecución (tres niveles: velocidad “preferida”, velocidad máxima y velocidad lenta).

El nivel de experiencia de los participantes (dos niveles: participantes expertos y participantes inexpertos). Esta variable se tratará como variable “manipulada a priori” (o variable de selección) con los criterios especificados en el apartado de la muestra para cada nivel.

Variables dependientes:

1) Magnitud de la variabilidad motora durante la ejecución de los movimientos de fuerza (desviación típica y coeficiente de variación).

2) Complejidad de la variabilidad motora. En este caso se calculó la entropía borrosa (FuzzyEn) para el estudio de la regularidad de la señal, así como el “Detrended Fluctuation Analysis” (DFA) para el estudio de la autocorrelación de la señal.

Análisis de entropía
(Fuzzy Entropy o entropía difusa)

$$FE(m, n, r, N) = \ln \phi^m(n, r) - \ln \phi^{m+1}(n, r)$$

Detrended Fluctuation Analysis

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [X(k) - X_n(k)]^2}$$

Análisis de datos

Se analizó la normalidad mediante el test de Kolmogorov-Smirnov y Levene. Tras comprobar la normalidad de los datos, se llevó a cabo un ANOVA de dos vías que permitía analizar la influencia de la cantidad de carga, así como de la velocidad de ejecución en función de la variable experiencia, lo que permitió conformar dos grupos.

Para esas comparaciones múltiples se realizó un análisis post-hoc con ajuste de Bonferroni, estableciendo el nivel de significación estadística en $p < 0.05$. Para complementar resultados del ANOVA, el tamaño del efecto fue calculado a través de la d de Cohen e interpretado en función de los valores sugeridos por Rhea (2004). Para estos análisis estadísticos, se utilizó el paquete informático SPSS 20.0 (IBM Inc, Armonk, NY, EE. UU).

3. Conclusión, limitaciones e implicaciones futuras

El presente estudio se ha diseñado para entender cómo la velocidad de ejecución influencia la variabilidad motora en el ejercicio de media sentadilla. Se espera que la velocidad de ejecución afecte a la variabilidad del movimiento, incrementando su magnitud cuando el participante es forzado a realizar una velocidad distinta a su preferida. Esto refleja cómo se producen incrementos o decrementos de la complejidad del sistema. Por otro lado, parece que una velocidad dos veces más lenta que la preferida implica mayores requerimientos al sistema, y, en consecuencia, la complejidad es superior. La velocidad máxima se ve influenciada por la velocidad preferida del sujeto. Si el sujeto trata de aplicar la máxima velocidad posible de forma habitual, ese constreñimiento no desestabilizará el sistema como sí lo hará en otros sujetos cuya velocidad preferida sea considerablemente menor que la máxima. En conclusión, de confirmarse la relación de que la velocidad de ejecución afecta a la variabilidad motora, la variabilidad motora y en particular la estructura de esa variabilidad medida con herramientas no lineales podría ser una herramienta a considerar para el control y la prescripción del entrenamiento.

El estudio que nos ocupa presenta limitaciones que deben ser enmendadas en futuros trabajos. Por un lado, el tamaño de la muestra es reducido. Sería interesante obtener una muestra mayor de hombres y mujeres. Además, con relación a las mujeres no se tuvo en consideración como variable contaminante el periodo del ciclo menstrual, por lo que quizás los resultados puedan verse afectados por esta variable. Esta variable podría afectar a la capacidad de generar fuerza por parte de las participantes, afectando a su 1RM y a las velocidades que pudiera alcanzar. Debería estudiarse si de darse esa hipótesis, la variabilidad motora también se vería afectada. Por otro lado, el número de sujetos expertos y noveles es descompensado, siendo mucho más numerosos los sujetos noveles. Debería seleccionarse para futuras investigaciones una mayor cantidad de expertos con el fin de comparar los resultados con los noveles.

Con relación a las implicaciones futuras, el estudio de la variabilidad motora en tareas con altas demandas de fuerza ofrece una perspectiva innovadora en el ámbito del entrenamiento. La variabilidad motora se erige como una variable más en la prescripción del entrenamiento, pudiendo ser considerada para la programación de las cargas del deportista gracias a mostrar cómo las diferentes partes del sistema se autoorganizan para adaptarse a los requerimientos de la tarea. Sin embargo, su aplicación a la práctica es limitada, pues el instrumental necesario para el análisis no lineal del movimiento aún no es asequible. Es por eso por lo que en futuros estudios debería validarse un instrumento que pudiera medir la variabilidad motora de forma rápida, sencilla y económica. Asimismo, que esta información fuese instantánea incrementaría el interés de los entrenadores y deportistas.

Por otro lado, es necesario seguir ahondando en el estudio de la variabilidad motora, pues, aunque los resultados son prometedores, hay muchas cuestiones que deben ser contestadas antes de abalanzarse a prescribir el entrenamiento a partir de esta variable. Preguntas como cuánta variabilidad es óptima en un ejercicio o en otro, o qué significa que un sujeto sea más variable en una tarea deben ser investigadas y resueltas a través del método científico. Además, se debe conocer cómo afectaría la velocidad de ejecución en otras variables de la sentadilla, por ejemplo, con otros rangos de movimiento o incluso en otros ejercicios de fuerza.

En conclusión, el estudio presente arroja un haz de luz sobre una variable que hasta hace poco tiempo era considerada como negativa. Sin embargo, la evidencia argumenta que lejos de ser perjudicial, la variabilidad motora podría ser un buen indicador de cómo responde el organismo ante un estrés determinado. No obstante, la misma evidencia nos plantea nuevas cuestiones que deberán ser abordadas lo antes posible para proporcionar a los entrenadores una herramienta más para tener en cuenta en sus entrenamientos.

4. Referencias

1. Bernsteín, N. A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. PergamonPress Ltd.
2. Buckner, S. L., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Bell, Z. W., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2019). The Basics of Training for Muscle Size and Strength: A Brief Review on the Theory. In *Medicine and Science in*

- Sports and Exercise* (Vol. 52, Issue 3).
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002171>
3. Caballero, C., Barbado, F., & Moreno, F. (2014). Non-linear tools and methodological concerns measuring human movement variability: an overview. *European Journal of Human Movement*, 32(0), 61–81.
<https://doi.org/10.21134/eurjhm.2014.32.319>
 4. Caballero, C., Moreno, F., Reina, R., Roldán, A., Coves, Á., & Barbado, F. (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, 12–26.
 5. Caballero Sánchez, C., Moreno Hernández, F., Reina Vaíllo, R., Roldán Romero, A., Coves, Á., & Barbado Murillo, F. (2017). The role of motor variability in motor control and learning depends on the nature of the task and the individual's capabilities. *Motricidad - European Journal of Human Movement*, 38(38), 12–26.
 6. Comfort, P., & McMahon, J. (2015). Reliability of maximal back squat and power clean performances in inexperienced athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3089–3096.
 7. Craig, J. J., Bruetsch, A. P., Lynch, S. G., & Huisinga, J. M. (2017). The relationship between trunk and foot acceleration variability during walking shows minor changes in persons with multiple sclerosis. *Clinical Biomechanics*, 49, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.07.011>
 8. Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement Systems as Dynamical Systems. *Sports Medicine*, 33(4), 245–260.
<https://doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>
 9. Duan, X., Rhee, J., Mehta, R. K., & Srinivasan, D. (2018). Neuromuscular control and performance differences associated with gender and obesity in fatiguing tasks performed by older adults. *Frontiers in Physiology*, 9(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00800>
 10. Fernández-Valdés, B., Sampaio, J., Exel, J., González, J., Tous-Fajardo, J., Jones, B., & Moras, G. (2020). The Influence of Functional Flywheel Resistance Training on Movement Variability and Movement Velocity in Elite Rugby Players. *Frontiers in Psychology*, 11(June).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01205>

11. Goldberger, A. L., Peng, C. K., & Lipsitz, L. A. (2002). What is physiologic complexity and how does it change with aging and disease? *Neurobiology of Aging*, 23(1), 23–26. [https://doi.org/10.1016/S0197-4580\(01\)00266-4](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(01)00266-4)
12. González-Badillo, J. J., & Ribas, J. (2018). Bases de la programación del entrenamiento de la fuerza. In *Editorial INDE* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
13. González-Badillo, & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
14. Guzmán-González, B., Bustos-Briones, C., Calatayud, J., Tapia, C., Torres-Elgueta, J., García-Massó, X., & Cruz-Montecinos, C. (2020). Effects of dual-task demands on the complexity and task performance of submaximal isometric handgrip force control. *European Journal of Applied Physiology*, 120(6), 1251–1261. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04357-x>
15. Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: Principles to guide physical therapist practice. *Physical Therapy*, 89(3), 267–282. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>
16. Lin, Y. T., Kuo, C. H., & Hwang, I. S. (2014). Fatigue effect on low-frequency force fluctuations and muscular oscillations during rhythmic isometric contraction. *PLoS ONE*, 9(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085578>
17. Lipsitz, L. A., & Goldberger, A. L. (1992). Loss of ‘Complexity’ and Aging: Potential Applications of Fractals and Chaos Theory to Senescence. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 267(13), 1806–1809. <https://doi.org/10.1001/jama.1992.03480130122036>
18. Martorelli, A. S., de Lima, F. D., Vieira, A., Tufano, J. J., Ernesto, C., Boullosa, D., & Bottaro, M. (2020). The interplay between internal and external load parameters during different strength training sessions in resistance-trained men. *European Journal of Sport Science*, 0(0), 1–27. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1725646>
19. Moras, G., Fernández-Valdés, B., Vázquez-Guerrero, J., Tous-Fajardo, J., Exel, J., & Sampaio, J. (2018). Entropy measures detect increased movement variability in resistance training when elite rugby players use the ball. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(12), 1286–1292. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.007>

20. Moreno, F. J., & Ordoño, E. M. (2015). Variabilidad y carga de práctica en el aprendizaje motor. *RICYDE: Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 39(11), 62–78. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5232/ricyde2015.03905>
21. Moreno, F., & Ordoño, E. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *European Journal of Human Movement*, 22, 1–19. <https://doi.org/10.21134/eurjhm.2009.22.215>
22. Norheim, K. L., Samani, A., Bønløkke, J. H., Omland, Ø., & Madeleine, P. (2019). The effects of age and musculoskeletal pain on force variability among manual workers. *Human Movement Science*, 64(December 2018), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.12.006>
23. Rhea, M. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 918–920.
24. Stergiou N. (2003). *Innovative Analyses of Human Movement*. Human Kine.
25. Strote, C., Gölz, C., Stroehlein, J. K., Haase, F. K., Koester, D., Reinsberger, C., & Vieluf, S. (2020). Effects of force level and task difficulty on force control performance in elderly people. *Experimental Brain Research*, 238(10), 2179–2188. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05864-1>
26. Tafti, F. F., Watson, K., Boron, J. B., Myers, S. A., Schmid, K. K., & Yentes, J. M. (2020). Strength of plantar-and dorsiflexors mediates step regularity during a high cognitive load situation in a cross-sectional cohort of older and younger adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 43(4), E45–E52. <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000254>
27. Tzagarakis, G. N., Tsivgoulis, S. D., Papagelopoulos, P. J., Mastrokalos, D. S., Papadakis, N. C., Kampanis, N. A., Kontakis, G. M., Nikolaou, P. K., & Katonis, P. G. (2010). Influence of acute anterior cruciate ligament deficiency in gait variability. *Journal of International Medical Research*, 38(2), 511–525. <https://doi.org/10.1177/147323001003800214>
28. Van Emmerik, R. E. A., & Van Wegen, E. E. H. (2002). On the functional aspects of variability in postural control. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(4), 177–183. <https://doi.org/10.1097/00003677-200210000-00007>
29. Wallace, S. A. (2016). Perspective of the dynamic pattern of rhythmic movement: an introduction. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

30. 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. <https://doi.org/10.1038/nn.3616>
31. Zhou, J., Manor, B., Liu, D., Hu, K., Zhang, J., & Fang, J. (2013). The Complexity of Standing Postural Control in Older Adults: A Modified Detrended Fluctuation Analysis Based upon the Empirical Mode Decomposition Algorithm. *PLoS ONE*, *8*(5), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062585>

