

*Trabajo de fin de máster en Ciencias de la Actividad Física
y del Deporte*

Título:

***Relación entre la variabilidad motora y la pérdida de
velocidad en condiciones de fatiga tras tareas de alta
demanda de fuerza.***



Autor:

Rodrigo Moreno Lila

Tutor:

Rafael Sabido Solana

Universidad Miguel Hernández (Elche)

Curso académico 2021-2022

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Sistemas dinámicos, variabilidad y herramientas no lineales.....	3
1.2 Fatiga y complejidad	3
1.3 Entrenamiento de fuerza, pérdida de velocidad de ejecución y entropía	3
1.4 Objetivo e hipótesis del estudio de intervención.....	4
2. MÉTODO.....	5
2.1 Participantes.....	5
2.2 Procedimiento.....	5
2.3 Diseño experimental.....	6
2.4 Medida e instrumentos.....	6
2.5 Análisis estadístico.....	7
3. REFERENCIAS.....	8



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Sistemas dinámicos, variabilidad y herramientas no lineales

En la naturaleza es imposible observar dos movimientos idénticos, aunque estos se realicen en las mismas condiciones (Bernstein, 1967). La teoría de los sistemas dinámicos se ha aplicado al estudio de la coordinación en los sistemas nerviosos y el control del movimiento, el desarrollo del movimiento y la adquisición de habilidades (Davids et al, 2003).

Si entendemos al ser humano como un sistema complejo de dinámica no lineal, debido a la interacción de este con otros elementos del sistema, surge la variabilidad motora como una habilidad del sistema nervioso central para explorar el entorno y adaptarse (Moreno y Ordoño, 2009; Moreno y Ordoño, 2015). Lejos de la visión tradicional donde entendían la variabilidad como errores del sistema la variabilidad podría ser clave para conseguir adaptarse a las situaciones cambiantes y explorar nuevas soluciones en el entorno. (Sandlund et al, 2017).

Las herramientas no lineales son herramientas matemáticas que evalúan como cambia el comportamiento motor en el tiempo, su dinámica temporal o su complejidad (Caballero et al, 2014). Surgen con el fin de medir esa variabilidad motora desde dos dimensiones: la magnitud de la variabilidad y la dinámica de la variabilidad, también denominada complejidad. (Caballero et al, 2014). Este tipo de fluctuaciones, medidas a través de las herramientas no lineales, proporcionan información clave sobre el estado del sistema (Pethick et al, 2021). Así, la entropía aparece como un tipo de herramienta no lineal que valora el grado de irregularidad o complejidad de una serie. En el análisis de la entropía, se busca conocer el nivel de predictibilidad o aleatoriedad de la señal, donde normalmente se ha relacionado altos valores de entropía con una alta complejidad (Caballero et al, 2014). Utilizando las características fractales, medidas no lineales que tratan de evaluar la complejidad de la variabilidad del movimiento mediante el análisis de la autocorrelación de largo alcance de la señal (Holden, 2005), investigaciones previas han analizado como puede influir los valores de entropía a la variabilidad del ritmo cardiaco (Ahmad et al, 2009; Kirchner et al, 2014) o para el análisis de la marcha.

1.2 Fatiga y complejidad motora

La definición más específica de la fatiga muscular se entiende como una reducción inducida por el ejercicio de la capacidad del músculo para producir fuerza o potencia, independientemente de que la tarea pueda mantenerse o no (Enoka et al, 2008). El manejo de la fatiga y la recuperación producida sobre el sistema muscular tras las sesiones de entrenamiento alterará las adaptaciones del individuo. En relación con lo expuesto, la complejidad de la variabilidad motora ha presentado disminuciones en valores de entropía cuando se realizaba un esfuerzo hasta la extenuación. (Lin et al, 2014; Pethick et al 2019). Por otro lado, se ha encontrado un descenso de la entropía de manera proporcional al descenso de la velocidad de ejecución en el ejercicio de sentadilla.

1.3 Entrenamiento de fuerza, pérdida de velocidad de ejecución y entropía

El entrenamiento de la fuerza ha pasado a ser el último siglo un elemento fundamental en la prescripción de ejercicio, ya sea para objetivos de rendimiento o de salud. En relación con los sistemas dinámicos, la intensidad de la carga podría considerarse un constreñimiento referido al sujeto y su relación con la tarea y el entorno podría mostrar cambios en la variabilidad motora. En la última década, ha habido un incremento en la investigación y aplicación del uso de la velocidad de ejecución para el entrenamiento de la fuerza y regulación de las adaptaciones neuromusculares y estructurales (Weakley et al, 2021).

Si la presencia de fatiga puede inducir cambios en la complejidad motora, exponer a individuos a diferentes estímulos e intensidades en el entrenamiento de fuerza podría

inducir cambios en valores de entropía. La pérdida de velocidad de ejecución en tareas de fuerza ha sido un indicador de la fatiga neuromuscular producida en los programas de entrenamiento (Weakley et al, 2017). La aplicación de pérdidas de velocidad del 10-20% puede ayudar a inducir adaptaciones neuromusculares y a reducir la fatiga neuromuscular, mientras que pérdidas de velocidad en torno al 30-40% se asocian con mayores incrementos en el área de la sección transversal (Włodarczyk et al, 2021).

1.4 Objetivo e hipótesis

Por consiguiente, el objetivo de estudio será analizar la relación entre la pérdida de velocidad de ejecución y la variabilidad motora en el ejercicio de media sentadilla en diferentes condiciones de fatiga. Podríamos hipotetizar que sesiones con alta pérdida de la velocidad de ejecución mostrarían una disminución más acentuada en la complejidad de la señal.



2. METODO

2.1 Participantes

La muestra estuvo conformada por un total de ocho participantes (edad $22,63 \pm 1,85$ años). De ellos, tres eran hombres y cinco mujeres, de los cuales solo un hombre y una mujer eran expertos, y el resto eran inexpertos en el entrenamiento de fuerza. Para considerarse experto debían de tener al menos 2 años de experiencia en el entrenamiento de fuerza y 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

2.2 Procedimiento

El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández. Cada participante completó una sesión de evaluación previa y ocho sesiones de intervención divididas en dos semanas, una denominada "Fuerza máxima" y otra de "Fuerza hipertrofia" (Figura 1). Se realizó el ejercicio de media sentadilla, hasta la profundidad donde el muslo quedase paralelo a la superficie intentando formar un ángulo de 90° en la rodilla.

Los participantes fueron citados viernes, previo a las dos semanas de intervención del estudio. Primero, se les informó del diseño y características del estudio, y se registró la firma del consentimiento informado. Tras ello, se realizó una valoración de aspectos antropométricos (talla y altura) y evaluamos la fuerza máxima con una prueba del RM. Previa a dicha valoración, los participantes realizaron un calentamiento de 10 minutos consistente en cinco minutos de activación cardiorrespiratoria, cinco minutos de movilidad articular, terminando con cinco minutos de ejercicios de la zona corporal central y tres saltos en contramovimiento (CMJ). Tras ese calentamiento, los participantes realizaron series incrementales para alcanzar la carga propia de su RM. Para no tener que alcanzar el peso máximo, los tests de RM de media sentadilla se realizaron valorando las ejecuciones con encoder lineal que permite determinar el RM al alcanzar velocidades próximas al RM, pero sin llegar a la ejecución de esa prueba de manera maximal. Cada una de las series se incrementó la carga, los participantes descansaron de manera completa (tres minutos) para garantizar las óptimas condiciones en los distintos movimientos.

La semana de "Fuerza Máxima" se realizó el mismo calentamiento general del día del RM y un calentamiento general realizando diez, ocho, seis y cuatro repeticiones al 30, 50, 70 y 80% RM. Se utilizó un pre-test y post-test para el análisis de la fatiga, así como la realización del mismo test a las 24, 48 y 72 horas. Este consistía en una serie de diez repeticiones al 50% RM ejecutado a la máxima velocidad medida con encoder. La sesión consistió en la realización de seis series de tres repeticiones al 90%RM. Los tests realizados a las 24,48 y 72 horas consistían en la realización del calentamiento general y específico y el test de control.

La semana de "Fuerza Hipertrofia" consistía en el mismo procedimiento, con la única diferencia que las cargas utilizadas durante la sesión del lunes fueron seis series de ocho repeticiones al 75%RM.

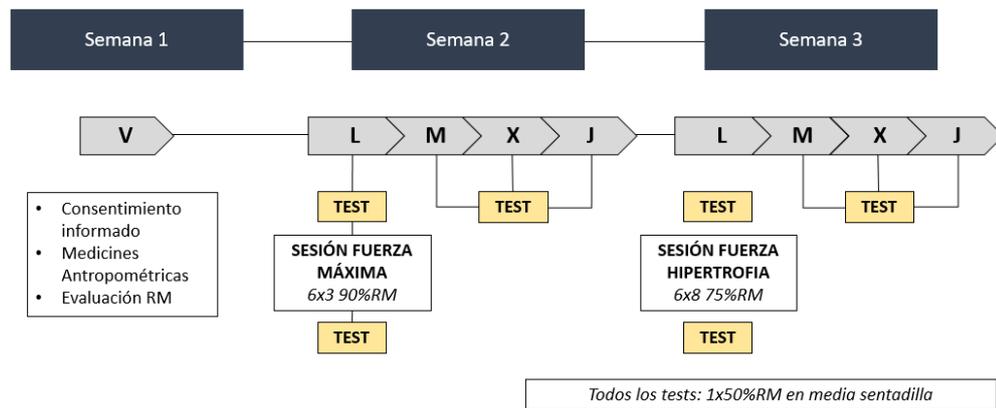


Figura 1. Esquema procedimental del diseño de las sesiones

2.3 Diseño experimental

VARIABLES

Variable independiente:

El tipo de sesión de entrenamiento (sesión “fuerza máxima” a porcentajes del 90%RM y “sesión hipertrofia” a porcentajes del 75%RM)

Variables dependientes:

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

Variables que describen la estructura de la variabilidad motora. En este caso se calculará el “Detrend fluctuation analysis” (DFA) para el estudio de la autocorrelación de la señal.

Velocidad de desplazamiento de la barra.

Variables contaminantes

Se realizaron informes de consentimiento y explicación de objetivos generales de investigación a los participantes, protocolos audiovisuales de información inicial y pautas de actuación para el conocimiento de los participantes de la técnica de ejecución. Se informó a los participantes de no realizar una actividad previa de ejercicio físico 72 horas previas al estudio, así como no realizar entrenamiento durante la realización del mismo. Se evaluó en el mismo momento del día (± 1 hora) para evitar modificaciones en el rendimiento debido a los ritmos circadianos. No se permitió el uso de ayudas ergogénicas que pudieran alterar los niveles de fuerza de los participantes.

2.4 Medida e instrumentos

Para las medidas antropométricas se utilizó una Tanita para la masa corporal. La altura de los sujetos fue medida gracias al uso de un tallímetro. Se usó un encoder lineal Chronojump (Chronojump Boscosystem, Barcelona, Spain) con el software asociado, para determinar la velocidad de ejecución y %RM de las respectivas cargas.

En cada medición, se utilizaron dos unidades de medida inercial IMU STT- IWS (STT-System, San Sebastián, España) los cuales registraban a 200Hz. Estos se localizaban en la

zona del sacro y la posición media de la barra. Se registraron los movimientos en los ejes verticales, anteroposterior y medio-laterales.

Finalmente se dispuso de barras olímpicas y discos para la realización de la media sentadilla, incluido un rack móvil modificado para limitar el rango de movimiento de la ejecución de los participantes.

2.5 Análisis Estadístico

El análisis de los datos se realizó con el software estadístico *IBM SPSS Statistics 22*. Tras una prueba de normalidad para corroborar la distribución mediante el Test de Kolmogorov-Smirnov y Levene, se realizó un ANOVA de dos vías donde por un lado se analizaba el análisis pre post fatiga, y por otro lado el tipo de sesión de entrenamiento.

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).



4. REFERENCIAS

- Ahmad, S., Ramsay, T., Huebsch, L., Flanagan, S., McDiarmid, S., Batkin, I., . . . Shamji, F.M. (2009). Continuous multi-parameter heart rate variability analysis heralds onset of sepsis in adults. *PLoS One*, 4(8), e6642.
- Bernsteĭn, N. A. (1967). The co-ordination and regulation of movements. *PergamonPress Ltd.*
- Caballero, C.; Barbado, D.; Moreno, F.J. Non-Linear Tools and Methodological Concerns Measuring Human Movement Variability: an overview. *European Journal of Human Movement*, (32), 61-81.
- 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.
- Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems. *Sports medicine*, 33(4), 245-260.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of physiology*, 586(1), 11-23.
- Holden, J.G. (2005). Gauging the fractal dimension of response times from cognitive tasks. *Contemporary nonlinear methods for behavioral scientists: A webbook tutorial*, 267-318.
- Kirchner, M., Schubert, P., Liebherr, M., & Haas, C.T. (2014). Detrended fluctuation analysis and adaptive fractal analysis of stride time data in Parkinson's disease: stitching together short gait trials. *PloS one*, 9(1), e85787.
- 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), e85578.
- 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.
- Moreno, F., & Ordoño, E. (2009). Aprendizaje motor y síndrome general de adaptación. *European Journal of Human Movement*, 22, 1–19.
- Pethick, J., Whiteaway, K., Winter, S. L., & Burnley, M. (2019). Prolonged depression of knee-extensor torque complexity following eccentric exercise. *Experimental physiology*, 104(1), 100-111.
- Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2021). Physiological complexity: influence of ageing, disease and neuromuscular fatigue on muscle force and torque fluctuations. *Experimental Physiology*, 106(10), 2046-2059.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 918-920.
- Sandlund, J., Srinivasan, D., Heiden, M., & Mathiassen, S. E. (2017). Differences in motor variability among individuals performing a standardized short-cycle manual task. *Human movement science*, 51, 17–26.

| Sanchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(9), 1725-1734.

Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, S., Scott, T., & Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: From theory to application. *Strength & Conditioning Journal*, 43(2), 31-49.

Włodarczyk, M., Adamus, P., Zieliński, J., & Kantanista, A. (2021). Effects of Velocity-Based Training on Strength and Power in Elite Athletes—A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5257.

