

Estudio de la Variabilidad Motora como indicador de fatiga en fútbol



Autor:

Lucas Nuñez Will

Tutor:

Rafael Sabido Solana

Universidad Miguel Hernández (Elche)
Curso académico 2024-2025

1. INTRODUCCIÓN	4
2. MÉTODO	5
3. RESULTADOS	6
4. DISCUSIÓN	7
5. CONCLUSIONES	8
6. REFERENCIAS	9



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Fatiga en el contexto deportivo

La fatiga es un fenómeno multifactorial que afecta tanto el rendimiento deportivo como la capacidad de recuperación del atleta (Meeusen et al., 2013). Se trata de un proceso complejo que involucra factores fisiológicos, neuromusculares y psicológicos. La fatiga puede clasificarse, por ejemplo en función de su origen, pudiendo clasificarse en fatiga central, asociada al sistema nervioso central, y fatiga periférica, que afecta directamente los músculos (Enoka & Duchateau, 2016). La fatiga central está relacionada con cambios en la activación neuronal, mientras que la fatiga periférica se asocia a la disminución de la capacidad de contracción muscular debido a alteraciones en los mecanismos de producción de energía y acumulación de metabolitos (Fitts, 2016). Ambas formas de fatiga pueden afectar la biomecánica del movimiento y la coordinación motora, generando posibles compensaciones que podrían incrementar el riesgo de lesiones.

1.2 Fatiga en el fútbol de élite

En el fútbol profesional, la fatiga es un factor clave que puede influir en la toma de decisiones, la velocidad de ejecución y la capacidad de recuperación de los jugadores (Carling et al., 2018). A lo largo de la temporada, los futbolistas están sometidos a cargas de entrenamiento y competición que pueden generar un estado de fatiga acumulativa, impactando su rendimiento y aumentando el riesgo de lesión (Mohr et al., 2005). Durante una semana de competición, las fluctuaciones en la fatiga varían según el calendario de partidos y entrenamientos. Investigaciones han demostrado que la fatiga neuromuscular es mayor el día después del partido (D+1) y puede recuperarse progresivamente hasta el día del siguiente partido (Thorpe et al., 2017). Los métodos tradicionales de evaluación de la fatiga, como el monitoreo de la carga de entrenamiento a través del esfuerzo percibido (RPE) o la medición del salto con contramovimiento (CMJ), han sido ampliamente utilizados, pero presentan ciertas limitaciones, como la influencia de factores externos y la variabilidad interindividual (Claudino et al., 2017).

1.3 Métodos de detección de la fatiga

Para evaluar la fatiga en futbolistas de élite, se han desarrollado diversas estrategias que incluyen pruebas fisiológicas, mediciones biomecánicas y cuestionarios subjetivos (Halsón, 2014). Uno de los métodos más utilizados es la medición del rendimiento en el salto con contramovimiento (CMJ), que ha demostrado ser un indicador fiable de fatiga neuromuscular (Claudino et al., 2017). No obstante, estudios recientes han explorado otras métricas que pueden aportar información complementaria sobre los efectos de la fatiga, como la variabilidad motora y el análisis de patrones de movimiento (García-Aguilar et al., 2023). El análisis de la variabilidad

del movimiento se ha convertido en una herramienta relevante en la detección de fatiga, ya que permite evaluar cambios en la coordinación intersegmentaria y en el control motor, factores que no siempre son evidentes en mediciones tradicionales (Preatoni et al., 2013).

1.4 Variabilidad motora y métodos no lineales

Los métodos no lineales han emergido como una herramienta prometedora en el análisis de la fatiga, ya que permiten evaluar la complejidad y estabilidad del control motor bajo condiciones de esfuerzo prolongado (Stergiou et al., 2006). A diferencia de los análisis tradicionales basados en promedios y desviaciones estándar, los métodos no lineales analizan la estructura temporal de las variaciones en el movimiento, proporcionando información más detallada sobre la estabilidad y adaptabilidad del sistema motor (Dingwell & Cusumano, 2010). Parámetros como la dinámica fractal (DFA α) y la entropía fuzzy (FuzzyEn) han sido utilizados para estudiar la influencia de la fatiga en la variabilidad motora, evidenciando que la fatiga reduce la complejidad del movimiento y altera los patrones de coordinación (Preatoni et al., 2013). Estos métodos pueden ofrecer información relevante en contextos deportivos, permitiendo detectar de manera más temprana la aparición de fatiga y ajustar las estrategias de entrenamiento en consecuencia (García-Aguilar et al., 2023).

El objetivo del presente estudio es conocer la modificación de la capacidad de salto y de la variabilidad motora durante una semana de entrenamiento y competición en fútbol. Asimismo, como objetivo secundario, se intentará estudiar la relación entre los cambios en variabilidad motora y la capacidad de salto durante el microciclo valorado.

2. MÉTODO

2.1 Participantes

La muestra estuvo compuesta por 14 jugadores de alto rendimiento (25.8 ± 5.3 años) pertenecientes al primer equipo de un club que milita en la Primera RFEF, tercera categoría del fútbol español. Los jugadores fueron seleccionados en función de su disponibilidad a todas las sesiones de entrenamiento evaluadas, así como la ausencia de lesiones y otros factores que podrían impactar en los resultados del estudio. Solo han sido incluidos jugadores con una participación total en las 5 sesiones del microciclo (4 entrenamientos + 1 partido) y sus respectivas mediciones, y que obtuvieron minutos en el partido. Todos los participantes han seguido su rutina normal de entrenamiento, nutrición, sueño y competición durante el período del estudio. Antes de la recolección de datos, se obtuvo el consentimiento informado de cada jugador, respetando los principios éticos de la Declaración de Helsinki (WMA, 2013) y las regulaciones de investigación en seres humanos.

2.2 Diseño del estudio

El estudio siguió un diseño observacional longitudinal, en el que se evaluaron los cambios en la variabilidad motora y la fatiga neuromuscular a lo largo de una semana de competición. Las mediciones se llevarán a cabo en cinco momentos clave: los 3 días anteriores al partido en el microciclo (-3, -2, -1), en el día del partido (pre partido), y el día posterior al partido (+2). Este diseño permitió el análisis de la evolución de la fatiga en relación con las distintas cargas de entrenamiento en distintos contextos y claro, en los partidos oficiales.

2.3 Procedimiento

Para evaluar la fatiga se utilizó en primer lugar la altura del salto con contramovimiento (CMJ), medida con la aplicación MyJump (Balsalobre-Fernández et al., 2015) en un smartphone modelo Apple iPhone 11, que ha demostrado alta fiabilidad y validez en la estimación de la altura del salto. Por otro lado, la variabilidad (entropía) motora se analizó mediante la medición de la aceleración en la zona lumbar durante una sentadilla isométrica (SI) con 30 segundos de duración, utilizando la aplicación PhyPhox en un smartphone modelo Apple iPhone 15.

Se registraron las fluctuaciones de los ejes X, Y, Z y del módulo de la aceleración, con el fin de generar datos de DFA, FuzzyEn y parámetros descriptivos como la desviación standard de la aceleración, que posibilitaron evaluar cambios en la estabilidad postural y el control motor. Asimismo, se intentó identificar posibles correlaciones con los cambios en la altura de salto también medida y directamente

relacionadas con la fatiga en deportistas (Balsalobre-Fernández et al., 2015). La estructura de las mediciones y modelo de semana se organizó acorde al siguiente esquema:

	D-3	D-2	D-1	<u>PARTIDO</u>	D+2
PRE	CMJ + SI	CMJ + SI	CMJ + SI	CMJ + SI	CMJ + SI
SESIÓN	<u>SESIÓN CAMPO</u> DURACIÓN: 88 MIN RPE MEDIO: 3,1 <u>SESIÓN FUERZA</u> 6 EJERCICIOS 3X 8-12 60-70%RM	SESIÓN CAMPO DURACIÓN: 78 MIN RPE MEDIO: 5,8	SESIÓN CAMPO DURACIÓN: 62 MIN RPE MEDIO: 4,0	MINUTAJE MEDIO: 70,3 MIN RPE MEDIO: 7,8	

2.4 Análisis de datos

El análisis estadístico se realizó mediante el software JASP (v.0.19.3). En primer lugar, se llevó a cabo una estadística descriptiva de todas las variables recolectadas: altura del salto (CMJ), esfuerzo percibido (RPE), entropía difusa (FuzzyEn), análisis de fluctuación sin tendencia para componentes corta y larga (DFA CP y DFA LP), coeficiente de variación (CV) y desviación estándar (STD) del módulo de aceleración de los ejes X, Y y Z del acelerómetro. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión, además de representar gráficamente su evolución durante los cinco días del microciclo.

Para explorar la relación entre los indicadores clásicos de fatiga y intensidad (CMJ y RPE) y las métricas de variabilidad motora, se realizaron correlaciones bivariadas. El tipo de correlación (Pearson o Spearman) se eligió en función de la distribución de las variables, evaluada con la prueba de Shapiro-Wilk (Ghasemi & Zahediasl, 2012). Las correlaciones se calcularon tanto globalmente como de forma desglosada por día, con el objetivo de analizar posibles variaciones según el momento del microciclo.

Adicionalmente, se examinaron las diferencias entre días mediante ANOVA de medidas repetidas, siempre que se cumplieran los supuestos de normalidad y esfericidad. En caso contrario, se aplicó la prueba de Friedman. En presencia de efectos significativos, se realizaron comparaciones post-hoc con corrección de Bonferroni.

Todas las pruebas consideraron un nivel de significación de $p < 0.05$, y se calcularon los tamaños del efecto (η^2 parcial o W de Kendall) para interpretar la magnitud de los resultados, más allá del valor p (Lakens, 2013). Esta aproximación permite integrar los cambios en la variabilidad motora con las demandas propias de cada día del microciclo, aportando una visión más contextualizada del comportamiento de la fatiga de alto rendimiento.

3. VINCULACIÓN A PROYECTO

El presente Trabajo Fin de Máster se enmarca en el proyecto nacional titulado “PID2022-139600NB-I00”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Este estudio ha sido desarrollado en el seno del Laboratorio de Aprendizaje y Control Motor del Centro de Investigación del Deporte (CID) de la Universidad Miguel Hernández de Elche, como parte de las líneas de investigación centradas en el análisis del control motor, la variabilidad del movimiento y la detección de la fatiga en contextos de rendimiento deportivo. En este sentido, el trabajo contribuye al objetivo general del proyecto, explorando el uso de indicadores de variabilidad motora como herramientas complementarias para el seguimiento de salud y deporte.



4. REFERENCIAS

- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1574–1579. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
- Carling, C., Gregson, W., McCall, A., Moreira, A., Wong, D. P., & Bradley, P. S. (2015). Match running performance during fixture congestion in elite soccer: Research issues and future directions. *Sports Medicine*, 45(5), 605–613. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0313-z>
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M. R., Tricoli, V., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Dingwell, J. B., & Cusumano, J. P. (2010). Re-interpreting detrended fluctuation analyses of stride-to-stride variability in human walking. *Gait & Posture*, 32(3), 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.004>
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2016). Translating fatigue to human performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2228–2238. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000929>
- Fitts, R. H. (2016). The role of acidosis in fatigue: Pro perspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2335–2338. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001006>
- García-Aguilar, F., Caballero, C., Sabido, R., & Moreno, F. J. (2022). The use of non-linear tools to analyze the variability of force production as an index of fatigue: A systematic review. *Frontiers in Physiology*, 13, 1074652. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1074652>
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489. <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(Suppl 2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>

Lopez Fernández, M. A. (n.d.). *Estudio de la variabilidad motora ante diferentes porcentajes de carga en movimiento de fuerza* [Trabajo de fin de máster, Universidad Miguel Hernández]. Repositorio RediUMH. https://dspace.umh.es/bitstream/11000/25975/1/L%C3%B3pez%20Fern%C3%A1ndez,%20Miguel%20Angel_TFM.pdf

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>

Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593–599. <https://doi.org/10.1080/02640410400021286>

Moreno Lila, R. (2022). *Relación entre la variabilidad motora y la pérdida de velocidad en condiciones de fatiga tras tareas de alta demanda de fuerza* [Trabajo de fin de máster, Universidad Miguel Hernández]. Repositorio RediUMH. <https://dspace.umh.es/jspui/bitstream/11000/27640/1/TFM-Moreno%20Lila,%20Rodrigo.pdf>

Preatoni, E., Ferrario, M., Donà, G., Hamill, J., & Rodano, R. (2013). Motor variability in sports: A non-linear analysis of race walking. *Journal of Sports Sciences*, 31(4), 383–393. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.736632>

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. <https://doi.org/10.1519/00124278-200411000-0005969>

Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal movement variability: A new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000281949.48193.d9>

Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2017). Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: Implications for practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S2276–S2281. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0434>

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>