



UNIVERSITAS
Miguel Hernández



**CONTROL DE LA CARGA DE
ENTRENAMIENTO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE
LA FUERZA**

Juan José Villena Herreros



MÁSTER UNIVERSITARIO EN RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD

2023/2024

Tutora: Carla Caballero Sánchez

Índice

1. Contextualización	3
2. Método.....	5
2.1. Muestra.....	5
2.2. Instrumentos	5
2.3. Protocolo	5
2.4. Tratamiento y análisis de datos	6
2.5. Análisis estadístico	6
3. Discusión	7
4. Bibliografía	8



1. Contextualización

Los deportes colectivos se caracterizan por realizar un trabajo intermitente con cambios bruscos de dirección a altas velocidades, sprints, saltos y varios tipos de golpes y lanzamientos, lo que requiere de la repetición explosiva de múltiples gestos deportivos creando unas altas demandas a nivel físico. Por otro lado, no todos los deportistas tienen las mismas demandas físicas ya que dependiendo la posición que ocupen y el papel que tienen que desempeñar durante el partido tienen que realizar unas funciones u otras, por lo que habrá que individualizar el entrenamiento y tener en cuenta estas diferencias para planificarlo (Bangsbo et al, 2006).

En la actualidad, el entrenamiento que se utiliza en los deportes colectivos como el fútbol, baloncesto, balonmano u otros deportes, ha generado ciertas dudas sobre cuál es el método correcto a la hora de preparar a sus deportistas para afrontar la competición de la mejor manera posible, evitar posibles lesiones que surjan o reducir la fatiga que produce su práctica deportiva para mejorar su rendimiento (Alfaro-Jiménez et al, 2018).

Este tipo de deportes suponen un desafío a la hora de planificar correctamente el entrenamiento ya que el entrenador deberá tener en cuenta la carga externa del deportista, que son medidas objetivas del trabajo que realiza el deportista durante el entrenamiento y la competición, y la carga interna, que son los estresores a nivel biológico (tanto físicos como psicológicos) que sufre el deportista. Y además de esto deberá individualizarlo a cada uno de los miembros del equipo, ya que como se ha mencionado anteriormente, cada uno de los integrantes de un equipo ocupa un rol diferente y unas funciones que demandaran más o menos esfuerzo durante el partido (Miguel et al, 2021).

Aquí la fatiga entra como un factor importante e inevitable dentro del juego y que actúa negativamente reduciendo el rendimiento deportivo, la coordinación muscular y la técnica de los gestos. Aunque los jugadores sean muy buenos, al aparecer la fatiga sus cualidades se ven reducidas y la calidad de sus movimientos se ven deteriorados lo que puede ser muy peligroso ya que un mal gesto o una mala recepción puede desembocar en una lesión para el deportista (Li et al, 2021). La importancia de controlar la fatiga en los atletas ha creado mucho interés por parte de los investigadores y profesionales en el seguimiento de la adaptación a esta, ya que, si se reduce, también lo hará el número de lesiones y por tanto se conseguirá que más jugadores estén disponibles a la hora de la competición pudiendo así aumentar la probabilidad de éxito. Por ello es importante planificar adecuadamente el entrenamiento que se le va a aplicar al deportista para reducir la fatiga que puede sufrir durante la competición o en su defecto retrasar la aparición de esta ya que los jugadores que se fatigan menos pueden soportar una mayor cantidad de carga de trabajo antes de alcanzar un nivel de fatiga determinado (Edwards et al, 2018).

La finalidad del control y monitoreo de la carga de trabajo y la fatiga es reducir el riesgo de lesiones y optimizar el rendimiento mediante la detección de fatiga excesiva, identificar las causas que han hecho que apareciera y la adaptación constante de las cargas de descanso, recuperación, entrenamiento y competencia, en función de la fatiga individual de los deportistas, tanto física como psicológica (Soligard et al, 2016).

La variabilidad interna de los deportes de equipo a nivel competitivo y durante el entrenamiento ha hecho que la forma de relacionar la carga interna con la externa del deportista sea difícil. Los métodos tradicionales utilizados para cuantificar la recuperación y la fatiga en deportes de equipo como sprints, sprints repetidos y contracciones voluntarias máximas pueden no ser viables para detectar variaciones en el estado de fatiga a lo largo de los periodos competitivos debido a que requieren mucho tiempo (Thorpe et al, 2017). La literatura reciente ha demostrado que el uso de pruebas más rápidas y simples, más fáciles de administrar, no invasivas y que se pueda adaptar la carga al deportista como pueden ser diferentes protocolos de salto pueden servir como herramientas prometedoras para cuantificar y establecer el estado de fatiga en equipos de deportes colectivos ya que, al haber competiciones en periodos cortos de tiempo deben tener una recuperación rápida. La racionalización sólida y la detección precisa de un cambio significativo en estas medidas son muy importantes para los entrenadores que trabajan junto a los deportistas diariamente observando el nivel físico y de tolerancia a la fatiga que tiene cada uno de ellos (Thorpe et al, 2017).

Una de estas pruebas es la valoración del salto con contra movimiento (CMJ), ya que se ha relacionado la disminución en la altura del salto o en la potencia generada durante el CMJ como un indicador de fatiga neuromuscular (Wu et al, 2019). Esto se debe a que el CMJ es una prueba estándar en la evaluación del rendimiento explosivo de los músculos, particularmente en las piernas. Durante esta prueba, se mide la altura del salto y la potencia generada, proporcionando una indicación clara de la capacidad de los músculos para producir fuerza explosiva (Raeder et al, 2016). Esta prueba se realiza típicamente en un entorno controlado utilizando plataformas de contacto, es uno de los modelos más utilizados, aunque en investigaciones anteriores se ha visto que los valores de potencia máxima, altura, etc, no cambian tras un ejercicio fatigante sí que se ven cambios en una modificación de la técnica lo que podría tener implicaciones importantes en la realización de otras actividades por lo que se puede obtener información sobre la fatiga neuromuscular (Gathercole et al, 2015). Por otro lado, el análisis de la variabilidad de la fuerza es un enfoque innovador que podría revolucionar la forma en que se cuantifica la carga de entrenamiento en deportes colectivos. Este método se basa en la observación de las fluctuaciones en la fuerza muscular durante y después del entrenamiento mediante contracciones repetidas y sostenidas, lo que proporciona una medida indirecta del estado de fatiga y recuperación de los jugadores. Un aumento en la variabilidad de la fuerza sugiere que los músculos están menos capaces de mantener una fuerza constante, lo cual es indicativo de fatiga. Al integrar el análisis de la variabilidad de la fuerza en la planificación del entrenamiento, los entrenadores pueden obtener información valiosa sobre la respuesta individual de los jugadores al entrenamiento y ajustar la carga en consecuencia para optimizar el rendimiento del equipo (Singh et al, 2010).

Otra forma de detectar la fatiga es mediante la electromiografía (EMG) que es una técnica que registra la actividad eléctrica de los músculos durante contracciones y reposo y que tiene la ventaja de que tiene una alta precisión en la detección de fatiga muscular local. Su detección se realiza por medio de electrodos intramusculares o superficiales que se adhieren en el sujeto, lo que puede resultar invasivo. (Fernández et al, 2007).

Otro de los métodos que se está utilizando actualmente para detección de la fatiga es el uso de la velocidad propulsiva, este método consiste en medir la velocidad a la que se mueve una carga externa durante la ejecución de un ejercicio específico. Con este método se analiza cómo varía esta velocidad a lo largo del desarrollo del ejercicio lo que proporciona una información valiosa sobre la fatiga que ha generado el deportista (Moura et al, 2024).

La ventaja de usar la variabilidad de la fuerza es que resulta menos invasivo para el sujeto ya que con electromiografía tendríamos que tratar el cuerpo del sujeto y colocarle los electrodos con todos los cables para realizar las mediciones, resultando de un proceso incómodo para la realización de los ejercicios. En cuanto a la ventaja que aporta frente al CMJ es que la

variabilidad de la fuerza se puede aplicar en gran variedad de movimientos y contracciones ya sean isométricas o dinámicas lo que la hace versátil en varios ámbitos deportivos. Para finalizar, en cuanto a la velocidad propulsiva los cambios en la variabilidad de la fuerza pueden ser indicadores tempranos de fatiga o de cómo se está adaptando el sistema neuromuscular al entrenamiento. Una mayor variabilidad puede indicar fatiga, mientras que una menor variabilidad puede reflejar una mayor eficiencia y adaptación.

Es por ello por lo que el objetivo de este estudio es ver si se puede utilizar la sentadilla como método fiable para identificar la fatiga que aparece en los jugadores tras un entrenamiento en pista, comparándolo con un CMJ y ver las diferencias que presentan.

2. Método

2.1. Muestra

Los participantes son dos jugadores de baloncesto, uno tiene 13 años, con una altura de 1,77 metros y un peso de 70 kg y el otro participante tiene 16 años, con una altura 1,88 metros y un peso de 70 kg.

2.2. Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron el *Chronojump* para anotar la altura alcanzada en los saltos con contra movimiento (CMJ) sobre una plataforma de contacto. Además, se hizo uso de un dispositivo móvil *Samsung Galaxy A30s* para registrar los datos de la acelerometría con la aplicación *Phyphox* (versión 1.1.13). También utilizaremos un goniómetro para calcular el ángulo de 90° entre la tibia y el fémur de los jugadores como criterio para la media sentadilla, colocando una pica a la altura donde se alcanzan esos 90°. Por último, se hizo uso de un encoder lineal Vitruve para estimar el RM de la sentadilla y poder calcular el 70% de su RM, carga utilizada en el día de la evaluación de la fatiga.

2.3. Protocolo

Las mediciones se realizaron en dos sesiones. Primero se realizó una sesión de familiarización en el que los participantes conocieron los protocolos a realizar, firmaron el consentimiento informado y se les midió la altura, el peso corporal y se les estimó el RM. El procedimiento para calcular el RM empezó con un calentamiento de 3 series y que no supere las 5 series en total. Una vez terminado el calentamiento se cargó la barra con un peso que supusiera el 50% del peso corporal del sujeto, a partir de aquí se fueron incrementando las cargas y se redujo el número de repeticiones. Una vez se realizaron 3 series, los descansos pasaron a ser de 3 minutos. Mientras se realizaron las repeticiones de la sentadilla se utilizó un encoder lineal que nos dio información de la velocidad a la que se desplazaba la carga y al llegar a una caída de velocidad de 0.6 m/s se terminó la prueba y se anotó la carga y la velocidad. (Sánchez-Medina et al, 2011)

Tras esta primera sesión de familiarización se realizó una segunda en la que se valoró la variabilidad de la aceleración en las repeticiones de la sentadilla y en la altura del salto del CMJ antes y después de una sesión de entrenamiento en pista.

En esta segunda sesión se utilizó el CMJ como *gold standard* para evaluar la potencia y la capacidad de salto en el ámbito del rendimiento físico y deportivo. Este tipo de salto es una prueba que se ha utilizado para estimar la producción de fuerza en el tiempo, capacidad de reclutamiento de unidades motoras para la valoración de la fuerza muscular y potencia. Los participantes realizaron 3 CMJ y se anotó la altura máxima que alcanzan, que se puede sacar a partir de una plataforma de contacto (Jiménez Reyes et al, 2011). Los saltos se realizaron

estandarizando su proceso para que todos lo hagan de la misma forma. Concretamente se realizaron con las manos en la cadera, flexionando sus rodillas hasta la profundidad que ellos prefieran y saltando lo máximo posible. Cada jugador realizó el primero de los 3 saltos, y una vez se ejecutó el primer salto los sujetos descansaron 1 minuto antes de hacer el segundo salto, y lo mismo antes de realizar el tercer salto, se hizo de esta manera para que no se acumule fatiga entre los saltos (Sánchez-Medina et al, 2011).

Además, se utilizó una aplicación móvil llamada Phyphox (versión 1.1.13), para registrar la acelerometría mientras se llevaron a cabo las sentadillas. Se situó el móvil en la zona del sacro mientras se realizaban las repeticiones atado con velcro para eliminar las máximas fluctuaciones en el movimiento y reducir el error en la medición. Se ejecutaron 10 repeticiones con el 70% del RM a velocidad preferida.

Para estandarizar las sentadillas las piernas debían estar a la anchura de los hombros y la barra apoyada sobre los trapecios y la bajada fue hasta una profundidad donde el ángulo entre el fémur y la tibia del jugador se encontrase en 90°, es decir hasta que sea una media sentadilla. Para ello nos ayudamos de un goniómetro para calcular cual es la profundidad a la que se alcanzan dicho grado de rodilla y colocamos una pica para marcar dicha altura y que sirva como referencia al jugador mientras realiza la sentadilla. La fase concéntrica debe ser lo más explosiva posible mientras que la fase excéntrica debe ser controlada y a una velocidad normal (Sánchez-Medina et al, 2011).

2.4. Tratamiento y análisis de datos

Las series temporales de aceleración recogidas con la aplicación Phyphox fueron tratadas con un programa informático diseñado en el Laboratorio de Aprendizaje y Control Motor del Centro de Investigación del Deporte de la UMH (CID), programado en LabView (versión 11). Este programa permitió cortar la señal desde el primer valle antes de empezar las sentadillas hasta el último valle, el momento en el que termina de realizar la última repetición. Los cortes se realizaron a través de un criterio visual. Una vez obtenidos los datos cortados, los introducimos en otro programa informático diseñado en el Laboratorio de Aprendizaje y Control Motor del CID, programado en Python, para calcular las variables de la estructura de la variabilidad a través del cálculo del Detrended Fluctuation Analysis (DFA) y la entropía borrosa (FuzzyEn). Por otro lado utilizaremos el cálculo de la desviación típica, que es un método lineal para cuantificar la cantidad de variabilidad, ya que indican cuanto se desvían los valores de aceleración respecto a la media. También se sacaron las medias de los CMJ como medida de referencia de la fatiga causada por la sesión de entrenamiento en pista.

2.5. Análisis estadístico

En este estudio se utilizó el programa de ordenador IBM SPSS Statistics para realizar el análisis estadístico. Empezamos realizando un test de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov y Levene para ver si la distribución de nuestros datos es significativamente diferente a la teórica curva normal.

Después de comprobar la normalidad de los datos recogidos se realizó una prueba T para muestras relacionadas con el objetivo de comparar entre el pre y el post entrenamiento. El valor de significación se marcó en $p < 0.05$. Para finalizar, complementamos los datos calculando el tamaño del efecto según Rhea MR (2004) al ser población entrenada profesionalmente ya que según este autor son las personas que han pasado al menos 5 años entrenando.

3. Discusión

Según lo que hemos realizado en el estudio, lo que se espera que suceda es que los valores de altura obtenidos por el CMJ sean menores después del entrenamiento en pista debido a la fatiga acumulada que se espera que se dé durante el entrenamiento, lo que puede reducir el rendimiento y la fuerza al terminarlo.

Por otro lado, también se espera que la entropía borrosa (FuzzyEN), una de las variables utilizadas para medir la estructura de la variabilidad de la serie de sentadilla indique una disminución de sus valores en los datos post entreno, lo que marcaría una pérdida de complejidad del sistema y una disminución de la capacidad adaptativa del organismo inducida por la fatiga.

En cambio, se espera encontrar que los valores de DFA, la segunda variable utilizada para la medida de la estructura de la variabilidad en la serie de sentadilla sea crecientes, ya que, en este caso, unos valores crecientes indican una pérdida de la complejidad del sistema.

En cuanto a la desviación típica, se espera que la fatiga que se haya producido durante el entrenamiento provoque un aumento de la variabilidad en el rendimiento, las respuestas fisiológicas y psicológicas de un sujeto, lo que generalmente se traduce en un incremento de la desviación típica en las medidas correspondientes. Este aumento indica una mayor dispersión de los datos y menos consistencia en las respuestas del sujeto.

Esta pérdida de complejidad del sistema puede deberse a diferentes motivos o características del entrenamiento realizado como son la duración de los entrenamientos y la intensidad de estos, ya que a mayor duración e intensidad la tasa metabólica tiende a aumentar y se ha comprobado que existe una relación inversa entre esta y la complejidad del sistema, o el cambio en la organización y la actividad de las unidades motoras ya que al producirse una disminución en la generación de fuerza, las unidades motoras deben sincronizarse mejor produciendo la pérdida de complejidad. Se ha visto que esta pérdida de complejidad se da sobre todo en las contracciones que son isométricas, pero en cuanto a las contracciones dinámicas estos resultados no están tan claros ya que se han descrito diferencias en la implicación de los niveles central y periférico en la fatiga, dependiendo de si las acciones son isométricas o concéntricas (García-Aguilar et al, 2022).

Las principales limitaciones a las que nos hemos enfrentado son, en primer lugar, a la muestra, ya que solo hemos contado con dos sujetos para realizar el estudio. Si la muestra fuese mayor se hubiesen podido recoger datos de más jugadores y ver si los cambios que se dan son semejantes en el pre y post entrenamiento.

Por otro lado, estaba el nivel de familiarización con el ejercicio ya que uno de los participantes tenía mayor experiencia a la hora de realizar la técnica de la sentadilla y la correcta realización de los saltos con contra movimiento

Por último, la etapa de la competición donde se ha realizado el estudio, ya que, al tratarse de la finalización de la etapa competitiva, los entrenamientos no tienen la misma intensidad de esfuerzo que si se realizase durante la etapa competitiva, en la que el objetivo principal de los entrenamientos se basa en obtener el mayor rendimiento posible para los partidos.

Uno de los beneficios de realizar el estudio es que aporte a la literatura una posible alternativa para ver la fatiga que se produce mediante la variabilidad de la fuerza que en este caso es el uso de la sentadilla. Sería interesante repetir el estudio en la etapa competitiva de la temporada para ver si las diferencias cambian con otro tipo de entrenamiento.

4. Bibliografía

Alfaro-Jiménez, D., Salicetti-Fonseca, A., & Jiménez-Díaz, J. (2018). Efecto del entrenamiento pliométrico en la fuerza explosiva en deportes colectivos: un metaanálisis. *Pensar en Movimiento: Revista de ciencias del ejercicio y la salud*, 16(1).

Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(7), 665–674.

Carvalho, A., Mourão, P., & Abade, E. (2014). Effects of Strength Training Combined with Specific Plyometric exercises on body composition, vertical jump height and lower limb strength development in elite male handball players: a case study. *Journal of human kinetics*, 41, 125–132.

Edwards, T., Spiteri, T., Piggott, B., Bonhotal, J., Haff, G. G., & Joyce, C. (2018). Monitoring and Managing Fatigue in Basketball. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(1), 19.

Fernández, J. M., Acevedo, R. C., & Tabernig, C. B. (2007). Influencia de la fatiga muscular en la señal electromiográfica de músculos estimulados eléctricamente. *Revista EIA*, (7), 111-119.

García-Aguilar F, Caballero C, Sabido R, Moreno FJ. The use of non-linear tools to analyze the variability of force production as an index of fatigue: A systematic review. *Front Physiol*. 2022 Dec 14;13:1074652.

Gathercole, R. J., Stellingwerff, T., & Sporer, B. C. (2015). Effect of acute fatigue and training adaptation on countermovement jump performance in elite snowboard cross athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 29(1), 37–46.

González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*. 2010 May;31(5):347-52.

Jiménez Reyes, P., & González Badillo, J. J. (2011). Monitoring training load through the CMJ in sprints and jump events for optimizing performance in athletics. *Cultura_Ciencia_Deporte [CCD]*, 6(18).

Li, F., Knjaz, D., & Rupčić, T. (2021). Influence of Fatigue on Some Kinematic Parameters of Basketball Passing. *International journal of environmental research and public health*, 18(2), 700.

Miguel, M., Oliveira, R., Loureiro, N., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J. (2021). Load Measures in Training/Match Monitoring in Soccer: A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health*, 18(5), 2721.

Moreno, S. M. (2020). La altura del salto en contramovimiento como instrumento de control de la fatiga neuromuscular: revisión sistemática. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (37), 820-826.

Moura, RE, da Silva, RFB, de Souza Gomes, LM, da Silva, JLR, dos Santos Henrique, R., de Barros Sousa, FA y Fonseca, F. (2024). Monitoreo de la velocidad de la barra para cuantificar la fatiga en el entrenamiento de resistencia.

Raeder C, Wiewelhove T, Simola RÁ, Kellmann M, Meyer T, Pfeiffer M, Ferrauti A. Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Athletes After 6 Days of Intensified Strength Training. *J Strength Cond Res*. 2016 Dec;30(12):3412-3427.

Sáez de Villarreal, E., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., & Ferrete, C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 29(7), 1894–1903.

Sánchez-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.

Singh NB, Arampatzis A, Duda G, Heller MO, Taylor WR. Effect of fatigue on force fluctuations in knee extensors in young adults. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2010 Jun 13;368(1920):2783-98.

Soligard, T., Schwelnus, M., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T., Gleeson, M., Hägglund, M., Hutchinson, M. R., Janse van Rensburg, C., Khan, K. M., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British journal of sports medicine*, 50(17), 1030–1041.

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), S227–S234.

Wu PP, Sterkenburg N, Everett K, Chapman DW, White N, Mengersen K. Predicting fatigue using countermovement jump force-time signatures: PCA can distinguish neuromuscular versus metabolic fatigue. *PLoS One*. 2019 Jul 10;14(7):e0219295.

