

**INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA TRADICIONAL VS
CROSSFIT EN LA ESTRUCTURA DE LA VARIABILIDAD MOTORA**

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE



Curso académico: 2022-2023

Alumno: Francesc Martínez Morell

Tutor académico: Rafael Sabido Solana

ÍNDICE PAGINADO

INTRODUCCIÓN	3
MÉTODO	5
Muestra	5
Procedimiento.....	5
Instrumental	6
Análisis estadístico	6
LIMITACIONES.....	7
REFERENCIAS	8



INTRODUCCIÓN

La fatiga neuromuscular se define como un proceso que, inducido por el ejercicio como causa principal, tiene como resultado la disminución de la capacidad que tiene el organismo de generar fuerza (Alba-Jiménez et al., 2022). En el ámbito deportivo, una fatiga excesiva puede conllevar una pérdida de rendimiento y/o un mayor riesgo de lesión (Alba-Jiménez et al., 2022). La fatiga neuromuscular puede tener un origen de carácter predominantemente central o periférica. La fatiga periférica se desarrolla por debajo de la unión neuromuscular. Se puede observar como una reducción de la fuerza muscular en respuesta a una estimulación eléctrica externa. En cambio, la fatiga central se produce en el sistema nervioso central, por encima de la unión neuromuscular, reduciendo la capacidad del mismo de reclutar unidades motoras. Una forma de medirla es mediante una reducción de los niveles máximos de activación voluntaria utilizando una técnica de contracción interpolada (Froyd et al., 2018).

A pesar de la pérdida de rendimiento de forma aguda, la fatiga es necesaria para aumentar el rendimiento de manera crónica. Ya que después de un periodo de recuperación, se produce una supercompensación (Walker et al., 2009), es decir, que el organismo alcanza unos niveles de fuerza mayores a los que tenía previamente. Por tanto, la fatiga es una parte integral del proceso de entrenamiento permitiendo que ocurra una adaptación en el atleta (Walker et al., 2009). Conocer la magnitud de la fatiga nos permitirá saber cómo está respondiendo el sujeto a la carga de entrenamiento. Por esta razón, puede ser de gran ayuda para aumentar el rendimiento medir la fatiga que se genera en el deportista, ya que esta será dependiente de la actividad y del atleta (Alba-Jiménez et al., 2022).

Para monitorizarla y cuantificar la fatiga se requieren indicadores fiables y sensibles a las cargas de entrenamiento y sus magnitudes. Basándonos en el artículo de Alba-Jiménez et al., 2022, tenemos podemos utilizar marcadores de fatiga en el deporte. Entre ellos, los indicadores más usados son los cuestionarios de evaluación subjetiva de la fatiga, los cuales nos permiten conocer la percepción que tiene el deportista sobre su estado de fatiga. Otro marcador muy utilizado son las mediciones de la máxima contracción voluntaria (MVC). La electromiografía de superficie (sEMG) nos permite observar las señales eléctricas que reciben los músculos y que están relacionadas con la fuerza producida en el músculo, y se ve afectada por la fatiga. Los marcadores biológicos como herramienta para medir la fatiga también nos permiten conocer como está reaccionando el organismo a la carga de entrenamiento a través de hormonas, marcadores inmunológicos o bioquímicos medidos a través de la saliva o la sangre. Por último, los test de salto vertical son una forma práctica y rápida para medir la fatiga neuromuscular. Tienen poca interferencia con el entrenamiento y son acciones propias de los deportes. El gold standard es el CMJ que nos permite evaluar la fatiga mediante la capacidad de acortamiento-estiramiento de la musculatura del tren inferior. Todas estas herramientas mencionadas anteriormente tienen problemas diversos como por ejemplo en el caso de los marcadores biológicos los cuales son caros y difíciles de realizar periódicamente o, en el caso de los cuestionarios de evaluación de fatiga su problema radica en que son muy largos de realizar. No obstante, encontramos ejemplos como el RPE (rating of perceived exertion), que puede ser muy útil en el día a día para medir y regular la carga de trabajo.

Centrándonos en los métodos que miden la capacidad para producir fuerza, la fatiga neuromuscular se puede observar, además de en la reducción de la capacidad de generar fuerza máxima, en el control que tenemos sobre la misma (Pethick & Tallent, 2022). En relación con este control de la capacidad de generar fuerza, aparece el termino variabilidad. Esta hace referencia a las variaciones que realiza el organismo para conseguir ejecutar el movimiento deseado. Para conocer la fatiga de un sujeto, el análisis de la variabilidad de la fuerza se ha propuesto como herramienta para describir el nivel de fatiga (Caballero et al., 2014). Este análisis, se realizaba anteriormente con herramientas estadísticas lineales las cuales nos permiten cuantificar una señal; las más utilizadas son la desviación típica o el rango (Harbourne

& Stergiou, 2009). Se ha observado que estas, utilizadas de forma independiente, no son lo suficientemente completas ya que tratan las variaciones como sucesos aleatorios e independientes entre sí y, por tanto, limitan nuestro entendimiento de la variabilidad debido a que no nos permiten conocer cómo evoluciona. Para complementar esta información obtenida de las herramientas lineales, las herramientas no lineales (NLTs) han sido de gran utilidad para obtener información adicional sobre la estructura de la variabilidad. Las NLTs son ecuaciones matemáticas que tienen el objetivo de ver cómo las variaciones crean comportamientos emergentes a lo largo del tiempo (García-Aguilar et al., 2022). Con estas herramientas podemos observar diferentes aspectos de la señal, como por ejemplo la autocorrelación con el DFA o la predictibilidad con la Entropía Aproximada (ApEn) la cual está relacionada con la periodicidad de la señal, donde a menor periodicidad menor adaptabilidad y viceversa. (Harbourne & Stergiou, 2009).

Numerosos estudios sugieren que esta variabilidad es necesaria para el buen funcionamiento del organismo y, por consecuencia, la ausencia de esta significaría que el sistema es menos adaptable a los cambios (Pethick et al., 2021; Goldberger et al., 2002; Davids et al., 2003). En estos estudios también se ha comprobado que personas mayores o que presentan alguna enfermedad tienen una menor variabilidad. En relación con la fatiga, cuando esta se produce podemos entender que el organismo se encuentra en un estado óptimo y, por tanto, con menos capacidad de adaptación, lo cual significará un aumento de la variabilidad (García-Aguilar et al., 2022). Teniendo esto en cuenta, cuando aumenta la fatiga, se producirán menos fluctuaciones de fatiga y, por tanto, produciendo un menor control de las contracciones musculares (Pethick & Tallent, 2022).

Realizar entrenamientos centrados en la vía neural, es decir, el trabajo de fuerza implica que se produzca una fatiga. Estos entrenamientos irán determinados por los factores que controlan la carga de trabajo como o son el volumen, la intensidad, la densidad y el tipo de ejercicio entre otros, los cuales al ser modificados podrán influir en la fatiga generada. En lo que respecta al entrenamiento en la actualidad encontramos dos corrientes principales, el entrenamiento tradicional y el Crossfit. Entre estas dos tendencias, la diferencia principal radica en la densidad, es decir, el tiempo de descanso entre series. En el entrenamiento de tipo CrossFit, el cual se engloba dentro de los entrenamientos en forma de circuito, el tiempo de descanso se ve reducido. En cambio, en el entrenamiento tradicional de fuerza, los ejercicios se realizan con periodos de descanso mayores y sin adoptar la distribución en forma de circuito (Chang et al., 2022). Por otra parte, la estructura de la sesión puede ser diferente ya sea agrupando los ejercicios, realizando subdivisiones de las repeticiones totales, o como en el caso de un EMOM con tiempos preestablecidos para realizar un ejercicio y el tiempo restante para descansar hasta la siguiente serie. También encontramos otros tipos de entrenamientos como pueden ser un AMRAP, en el que se hacen tantas rondas a un circuito como sea posible.

Se ha visto que el entrenamiento de tipo CrossFit produce diferentes tipos de adaptaciones que van desde el consumo de oxígeno hasta el aumento de la fuerza. En cambio, el entrenamiento de tipo tradicional se enfoca principalmente en el aumento de la fuerza, la potencia y/o la hipertrofia, sin darle importancia al trabajo cardiovascular (Márquez et al., 2017). En cuanto a la fatiga neuromuscular, en los artículos en los que se ha estudiado la repercusión que tiene el tipo de entrenamiento en forma de circuito y con tiempos de descansos menores sobre el organismo, los resultados han mostrado que medidas de fatiga tales como el RPE, el lactato acumulado y el daño muscular aumentaban a la par que la síntesis de fosfocreatina era menor, en comparación con el entrenamiento tradicional, disminuyendo la respuesta muscular de los sujetos (Márquez et al., 2017). Es importante destacar, que el entrenamiento en forma de circuito supone una reducción notable del tiempo de la sesión. No obstante, en este trabajo, la variable que manipularemos será la estructura de la sesión, es decir, el formato de la misma y,

por tanto, se han igualado el resto de variables como lo son el tiempo de descanso, el volumen y la intensidad para observar si hay diferencias en la fatiga generada.

En los últimos años, la mayor parte de los artículos relacionados con la variabilidad y su uso para la detección de la fatiga se ha centrado en contracciones isométricas y monoarticulares (Pethick et al., 2015; Pethick et al., 2016), las cuales no suelen darse en el deporte, ni en la vida diaria, habitualmente. Por este motivo, el objetivo del presente trabajo de fin de grado es analizar la variabilidad en acciones más complejas y en situaciones de equilibrio monopodal para observar si este marcador puede ser utilizado para la monitorización de la fatiga y comparar su uso con medidas tradicionales de fatiga como el CMJ. Por otro lado, este estudio nos permitirá conocer la influencia que tiene la estructura del entrenamiento, en relación con la fatiga la variabilidad ocasionada. Se espera que, a través del protocolo de fatiga realizado, en todos los sujetos que realicen este estudio se produzca una disminución de la complejidad y un aumento de la fatiga, siendo mayor este aumento de la fatiga en el entrenamiento de tipo CrossFit respecto al entrenamiento tradicional debido a las características mencionadas anteriormente.

MÉTODO

Muestra

Se reclutaron 10 participantes (4 hombres y 6 mujeres; edad = 25.8 ± 7.7 años; altura = 166.8 ± 7.7 cm; peso = 67.7 ± 8.9 kg; repetición máxima (1RM) en sentadilla = 95.9 ± 26.0 kg; ratio 1RM/peso corporal = 1.4 ± 0.3). Antes de participar en el estudio, se obtuvo el consentimiento informado de cada participante, el cual fue aprobado por el comité de ética de la Universidad (PID2019-109632RB-100), que está adherido a la Declaración de Helsinki. Todos los participantes tenían al menos un año de experiencia en el entrenamiento de fuerza, incluyendo el ejercicio de la sentadilla en sus programas de entrenamiento. Se les pidió a los participantes que mantuvieran su estilo de vida normal. Además, no estaba permitida la ingesta de cafeína en las 3 horas previas a las mediciones. Por otra parte, durante la duración del estudio, no se les permitió a los participantes realizar entrenamientos de tren inferior. Para minimizar la variabilidad experimental, los participantes asistieron en el mismo horario durante todas las mediciones.

Procedimiento

La duración de la intervención fue de dos semanas (una para cada tipo de entrenamiento) en la cual los participantes el primer día realizarían una sesión de entrenamiento de crossfit o tradicional. Para obtener los datos de para este estudio, se realizaron mediciones pre y post entrenamiento de las variables de interés (variabilidad en sentadilla, equilibrio monopodal con ambas piernas y CMJ); además, se realizaron mediciones adicionales 24 y 48 horas post para evaluar la fatiga producida por cada tipo de entrenamiento. Para comparar ambos tipos de entrenamiento, tradicional y CrossFit, los participantes los realizaron en orden contrabalanceado para minimizar los efectos del orden en los resultados, es decir, de forma aleatoria la mitad de los participantes realizaron la primera semana el entrenamiento tradicional y la segunda semana el de crossfit y la otra mitad, al contrario.

En la sesión de familiarización, una semana antes del comienzo del estudio, los sujetos realizaron un test de fuerza máxima (RM) en sentadilla para establecer los pesos a utilizar en las mediciones y las sesiones. Para calcular el RM en sentadilla, el protocolo utilizado consistía en aumentar la carga hasta que la velocidad media propulsiva fuera menor de 0.5 m/s. La profundidad de la sentadilla fue establecida a 90° de flexión de rodilla. El 1RM fue calculado automáticamente por el software de la aplicación.

Los ejercicios utilizados, el volumen (número de series y repeticiones), la intensidad (carga utilizada) se mantuvieron iguales en los dos tipos de entrenamiento; respecto al tiempo de descanso, este se intentó igualar en ambos. Para conseguir que el tiempo fuera similar, se estableció un minuto de descanso entre series en el tradicional y, para el de crossfit, se realizó un EMOM calculando el tiempo que se tardaría en realizar los ejercicios de cada ronda (30 segundos aproximadamente y, por tanto, el tiempo de descanso sería de un minuto).

En cuanto a las sesiones de entrenamiento, ambas sesiones iban precedidas por un calentamiento que estaba compuesto por tres minutos de bicicleta estática, 12 repeticiones de bisagra de cadera, 12 repeticiones del ejercicio - "90-90" y 12 repeticiones de sentadilla con el peso corporal seguidos por 30 segundos en isométrico de los siguientes ejercicios: puente de glúteo, plancha abdominal y planchas laterales.

En el protocolo de fatiga para el entrenamiento tradicional, los participantes realizaron cuatro series de seis repeticiones en sentadilla con el 75% del RM en sentadilla. A continuación, hicieron cuatro series de diez repeticiones en peso muerto con el 70% del RM de sentadilla, cuatro series de diez repeticiones con el 40% del RM (20% en cada mano) de zancadas (dos series con cada pierna) y, por último, cuatro series de diez repeticiones subidas a cajón con el peso corporal (dos series con cada pierna). Entre cada serie y cada ejercicio el tiempo de descanso fue de un minuto.

En cuanto al protocolo de entrenamiento tipo crossfit, la dinámica fue diferente, aunque el volumen total y el tiempo de descanso fue el mismo. El formato utilizado fue un EMOM compuesto por 16 rondas de un minuto y medio. En las primeras ocho rondas se harían tres repeticiones de sentadilla con el 75% del RM y cinco repeticiones de subidas cajón. En las ocho siguientes, los ejercicios a realizar fueron cinco repeticiones de peso muerto con el 70% del RM de sentadilla y cinco repeticiones de zancadas con el 40% del RM de sentadilla. Tanto en las zancadas como en las subidas a cajón se harían cuatro rondas con cada pierna de forma alterna.

Se les pidió a los participantes que realizaran dos equilibrios con cada pierna y seis CMJ diariamente, cuatro días antes de comenzar la intervención. En las dos sesiones se realizaron los mismos test los cuales incluían, 10 repeticiones en sentadilla, un equilibrio monopodal de 40 segundos con cada pierna y tres CMJ. Para conocer la variabilidad en la sentadilla, los participantes realizaron 10 repeticiones consecutivas con el 70% del RM teniendo un acelerómetro colocado a la altura de la cresta iliaca. En cuanto al CMJ, este se obtuvo apuntando el mayor de tres intentos realizados mediante una plataforma de salto y como protocolo del salto, este se debía realizar con las manos apoyadas en la cintura y realizando un contramovimiento cayendo con los pies y las piernas totalmente extendidos. Por último, para obtener los datos del equilibrio monopodal con ambas piernas, se les colocó un acelerómetro en la zona lumbar, a la altura de la cresta iliaca, a los participantes para que realizaran 40 segundos apoyados con solamente un pie y el otro a la altura de la rodilla; las manos estaban colocadas en la cadera.

Instrumental

Para calcular el 1RM, se utilizó un software y un encoder lineal Vitruve (Vitruve, Madrid, España). Durante las mediciones, la altura del CMJ se obtuvo a través de una plataforma de salto Chronojump (Chronojump, Barcelona, España). Las señales de la aceleración en las pruebas realizadas se obtuvieron a través de una Unidad de Medición Inercial (IMU). Los IMUs (San Sebastián, España) se sincronizaron automáticamente con el software iSen.

Análisis estadístico

Cada una de las señales de aceleración obtenidas fue subsampleada de 200hz a 100hz. Se analizó la estructura de la variabilidad de las señales analizadas a través de los módulos de las señales de acelerometría y de la altura máxima de los CMJ en cada medición. Para este análisis,

las señales fueron analizadas usando Detrended Fluctuation Analysis (DFA) para la predictibilidad de las señales en la que se analizaron ventanas de hasta 20 datos. Además de estas medidas, la desviación típica (SD) también fue analizada.

Se utilizó SPSS (V. 25, IBM Statistics, Nueva York, EE. UU.) para analizar los datos obtenidos. En primer lugar, se aplicó una prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov a los resultados obtenidos mediante DFA y MSE. Posteriormente, con el objetivo de evaluar la confiabilidad de estas medidas, se realizó una prueba ANOVA 2x4 para determinar si existían diferencias significativas entre los dos días en los que se llevó a cabo el protocolo.

LIMITACIONES

Es importante destacar que este estudio se centró en los efectos agudos del entrenamiento, lo que implica que los resultados pueden no reflejar completamente los efectos a largo plazo de ambos tipos de entrenamiento. Además, el tamaño de la muestra utilizada en este estudio fue limitado y los sujetos presentaban características heterogéneas como la edad, el género, la experiencia, el RM en sentadilla... Por último, aunque los participantes asistieron en el mismo horario durante todas las mediciones y se intentó controlar las variables que estaban a nuestro alcance como la ingesta de cafeína y de agua, es posible que existieran otros factores externos que pudieran haber influido en los resultados como por ejemplo la calidad del sueño y el estrés los cuales son factores muy importantes en el control de la fatiga.



REFERENCIAS

- Alba-Jiménez, C., Moreno-Doutres, D., & Peña, J. (2022). Trends Assessing Neuromuscular Fatigue in Team Sports: A Narrative Review. *Sports, 10*(3), 33. <https://doi.org/10.3390/sports10030033>
- Aubry, A., Hausswirth, C., Louis, J., Coutts, A. J., & Meur, Y. L. (2014). Functional Overreaching. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 46*(9), 1769-1777. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000301>
- 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. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5100274.pdf>
- Chang, Y., Chou, Y., Chang, Y., Tan, K., & Wu, M. (2022). The Effects of High-Intensity Power Training versus Traditional Resistance Training on Exercise Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(15), 9400. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159400>
- Davids, K., Glazier, P. S., Araújo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement Systems as Dynamical Systems. *Sports Medicine, 33*(4), 245-260. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333040-00001>
- Froyd, C., Beltrami, F. G., & Noakes, T. D. (2018). Neuromuscular Fatigue at Task Failure and During Immediate Recovery after Isometric Knee Extension Trials. *Sports, 6*(4), 156. <https://doi.org/10.3390/sports6040156>
- García-Aguilar, F., Caballero, C., Sabido, R., & Moreno, F. A. (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*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1074652>
- Goldberger, A. L., Peng, C., & 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)
- 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>
- Iguchi, M., & Shields, R. K. (2010). Quadriceps low-frequency fatigue and muscle pain are contraction-type-dependent. *Muscle & Nerve, 42*(2), 230-238. <https://doi.org/10.1002/mus.21679>
- Márquez, G., Romero-Arenas, S., Marín-Pagán, C., Vera-Ibáñez, A., Fernández-Del-Olmo, M., & Taube, W. (2017). Peripheral and central fatigue after high intensity resistance circuit training. *Muscle & Nerve, 56*(1), 152-159. <https://doi.org/10.1002/mus.25460>
- Pethick, J., & Tallent, J. (2022). The Neuromuscular Fatigue-Induced Loss of Muscle Force Control. *Sports, 10*(11), 184. <https://doi.org/10.3390/sports10110184>
- Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2015). Fatigue reduces the complexity of knee extensor torque fluctuations during maximal and submaximal intermittent isometric contractions in man. *The Journal of Physiology, 593*(8), 2085-2096. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2015.284380>
- Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2016). Loss of knee extensor torque complexity during fatiguing isometric muscle contractions occurs exclusively above the critical torque.

American Journal of Physiology-regulatory Integrative and Comparative Physiology, 310(11), R1144-R1153. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00019.2016>

Pethick, J., Winter, S. L., & Burnley, M. (2019). Fatigue reduces the complexity of knee extensor torque during fatiguing sustained isometric contractions. *European Journal of Sport Science*, 19(10), 1349-1358. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1599450>

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. <https://doi.org/10.1113/ep089711>

Refalo, M. C., Helms, E. R., Hamilton, D. L., & Fyfe, J. J. (2023). Influence of Resistance Training Proximity-to-Failure, Determined by Repetitions-in-Reserve, on Neuromuscular Fatigue in Resistance-Trained Males and Females. *Sports Medicine - Open*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-023-00554-y>

Vila-Chã, C., Hassanlouei, H., Farina, D., & Falla, D. (2012). Eccentric exercise and delayed onset muscle soreness of the quadriceps induce adjustments in agonist–antagonist activity, which are dependent on the motor task. *Experimental Brain Research*, 216(3), 385-395. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2942-2>

Walker, S., Peltonen, J., Ahtiainen, J. P., Avela, J., & Häkkinen, K. (2009). Neuromuscular fatigue induced by an isotonic heavy-resistance loading protocol in knee extensors. *Journal of Sports Sciences*, 27(12), 1271-1279. <https://doi.org/10.1080/02640410903165085>

