

**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS DE LA REMADA EN REMOERGÓMETRO PARA UNA SERIE EN LA MISMA ZONA DE INTENSIDAD: COMPARACIÓN PRE-FATIGA Y POST-FATIGA**



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**Alumno: Sergio Calavia Carbajal**  
**Tutora: Carla Caballero Sánchez**

## RESUMEN

El objetivo de este estudio es comparar los diferentes cambios en entropía difusa, desviación estándar y promedio en los parámetros de una remada (vatios, distancia en cada palada, tiempo empleado en cada palada, desplazamiento en el eje X, desplazamiento en el eje Y, desplazamiento en el eje Z y módulo de aceleración) previa y posteriormente a la fatiga. El estudio se realizó con 6 remeros ( $25 \pm 5,9$  años,  $5,17 \pm 4,7$  años de experiencia,  $182 \pm 4,7$  cm y  $76,75 \pm 3,2$  Kg). El procedimiento que se siguió fue realizar una serie de 15 minutos de intensidad variable siguiendo las zonas de Lanao: 4 minutos en zona 1 (50 a 59% de la PAM), 5 minutos en zona 2 (60 a 75% de la PAM), 2 minutos en zona 3 (80 a 85% de la PAM) y 4 minutos en zona 1 (50 a 59% de la PAM). Los intervalos que se compararon fueron el primero y el último de 4 minutos. Para determinar si existía fatiga se utilizó la frecuencia cardiaca y el RPE pasado un minuto de las zonas 1. Los resultados mostraron que se produjo una fatiga con la intervención ( $p < 0,05$ ) en la media FC y RPE. En cuanto a los diferentes parámetros, se encontraron diferencias antes y después de la fatiga. Para la estructura de la variabilidad (*FuzzyEn*) solo existió diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el desplazamiento en el eje Z; para la cantidad de variabilidad, el desplazamiento en el eje X, el desplazamiento en el eje Z, el módulo de aceleración y los vatios mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). La única media que mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) fue la registrada en el desplazamiento en el eje Z.

**Palabras clave:** variabilidad motora, fatiga, herramientas no lineales, remoergómetro, remo.



## ÍNDICE

<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	4
<b>MÉTODO</b> .....	6
<b>MUESTRA</b> .....	6
<b>INSTRUMENTAL</b> .....	6
<b>PROCEDIMIENTO</b> .....	7
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	10
<b>DISCUSIÓN</b> .....	10
<b>LIMITACIONES</b> .....	11
<b>REFERENCIAS</b> .....	13



## MARCO TEÓRICO

La carga de entrenamiento se define como la relación entre el entrenamiento y la fatiga. Sirve para determinar las adaptaciones del atleta al entrenamiento que se le ha planificado (Halson, 2014). Se considera un elemento clave para entender las respuestas del deportista al entrenamiento (Mujika, 2016). El concepto de la carga de entrenamiento es multidimensional, por lo que engloba diferentes conceptos. Entre estos conceptos están la carga externa, que hace referencia a la cantidad de entrenamiento a la que se expone el deportista, y la carga interna, referente a la respuesta del cuerpo ante la carga externa (Impellizzeri et al, 2023).

La monitorización de la carga es necesaria para crear una sinergia positiva entre los deportistas y los entrenadores (Foster, 2017). Esto ha llevado a que se utilicen diferentes métodos que se adapten mejor a la disciplina en la que se está trabajando. Entre los métodos más extendidos en los deportes de resistencia se encuentran: la concentración de lactato en sangre, el gasto energético en kilocalorías (Kcal) a una determinada intensidad, la potencia sostenida máxima, el volumen de oxígeno máximo ( $VO_2$  máx), la frecuencia cardíaca (FC), o la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) (Mujika, 2016).

El remo, incluido en estos deportes de resistencia, también se vale de algunas de estas variables a la hora de cuantificar. La RPE se ha relacionado con la potencia y la frecuencia cardíaca de deportistas en esta disciplina (DellaValle, 2013). El comportamiento del  $VO_2$  máx también se ha utilizado de diferentes maneras. Por un lado, Penichet et al. (2023) relacionan el  $VO_2$  máx con la potencia máxima producida en un test incremental. Por otro lado, Mujika et al. (2023) utilizan la cinética del consumo de oxígeno para comparar las mejoras producidas por 2 tipos de entrenamiento de alta intensidad en remoergómetro. Otros métodos para cuantificar la carga más extendidos en esta modalidad son: el lactato, la potencia media y la Potencia Aeróbica Máxima (PAM) (Larrinaga, 2023)

Como ya indicara Foster (2017), con la llegada de nuevas tecnologías y de nuevas influencias de otros campos al ámbito del deporte, se está pudiendo obtener más datos para cuantificar la carga. Entre las influencias de otros campos al deporte está el uso de modelos matemáticos, las herramientas no lineales, que en los últimos tiempos se utilizan para medir la variabilidad de los sistemas como una adaptación funcional de control motor y no como un error del sistema (Caballero, 2014). Entre las herramientas no lineales que más se utilizan se encuentran: la entropía simple (SampEn) la entropía aproximada (ApEn) la entropía difusa (*FuzzyEn*), la entropía multiescalar (MSE) o el análisis de la tendencia de la fluctuación (DFA). Como la fatiga es definida como un proceso multifactorial en el cual disminuye la capacidad del músculo para producir fuerza (Gandevia, 2001) diferentes autores se han apoyado en esta definición para, mediante el uso de herramientas no lineales, determinar si existe fatiga en un grupo muscular. En esta definición se apoyaron autores como Pethick et al (2020) que obtuvieron que, tras un trabajo de fuerza isométrica intermitente en la extensión de tobillo hasta el fallo, los valores de ApEn decrecen y el DFA aumenta en la extensión de tobillo. En la obtención de los datos utilizó un dinamómetro isoquinético registrando a 1000 Hz. Otro estudio que obtiene una reducción en los valores de ApEn es la que obtiene Zhu et al (2020) en la musculatura de agarre tras un entrenamiento intermitente de 15 s de trabajo y 15 s de descanso hasta el agotamiento; utilizó un dinamómetro registrando a 1000 Hz y filtrado a 15 Hz y un acelerómetro registrando a 45 Hz. García-Aguilar et al (2022) indican que este tipo de estudios, aunque tienen bien fundamentados sus resultados, son difíciles de extrapolar a otros campos ya que no existe una estandarización del protocolo a la hora de producir la fatiga, todos llegan al fallo muscular para asegurarla, y los métodos utilizados son muy diferentes entre sí, o, no se explican con la suficiente claridad, dejando ejercicios realizados sin explicar o sin mencionar el número de series o los parámetros para considerar una repetición por buena.

En el remo se han realizado estudios durante la competición en los que se observan diferencias según avanza la misma (Lorenzo-Buceta et al, 2014). En este estudio se registró que durante una competición de trainera la fuerza ejercida por los remeros en el último largo es mayor que en el resto de la competición, la potencia media imprimida por los remeros en el segundo largo es la más alta de la regata. El número de paladas también varía, siendo el segundo largo en el que menos paladas se dan y el tercer y cuarto largo en el que más.

Sin embargo, pese a que se observa que diferentes parámetros como la fuerza, el ritmo y la potencia cambian, no se ha estudiado la variabilidad motora en el remo. Por tanto, el objetivo de este estudio es comprobar si la variabilidad motora cambia tras un protocolo de fatiga, pudiendo ser la variabilidad motora un indicador del estado de fatiga del sistema.

## MÉTODO

### MUESTRA

Para realizar esta intervención se han seleccionado 6 remeros altamente entrenados (McKay et al 2022) que participan en la modalidad tradicional de esta disciplina compitiendo en ligas autonómicas y torneos nacionales, máximo nivel posible en esta modalidad. La edad media es de  $25 \pm 5,9$  años y la experiencia de los deportistas es de  $5,17 \pm 4,7$  años. La altura media de los deportistas es de  $182 \pm 4,7$  cm y el promedio de peso es de  $76,75 \pm 3,2$  Kg. Todos ellos accedieron a participar en la práctica con la firma de un consentimiento informado en donde se les dejaba abandonar la recogida de datos en cualquier momento.

### INSTRUMENTAL

La prueba se realizó en un remoergómetro modelo *concept 2* (Estados Unidos) con el banco bloqueado mediante un aplique (Figura 1). Los elementos utilizados para la toma de datos de esta intervención han sido: aplicación móvil *Physics Toolbox Suite* en su versión del 7 de enero de 2023 para Android, colocando el móvil en la empuñadura del remoergómetro, imitando la colocación de modelos de otras marcas como el *Quiske Rowing Technique* (Finlandia) (<https://www.rowingperformance.com/>) con un registro a 200 Hz (Figura 2),

pulsómetro Polar M400 (Finlandia), la aplicación de *concept Ergdata* en su versión 2.1.4, conectada a la pantalla PM5 del remoergómetro y el cuestionario RPE del 0 al 10 modelo de Borg relacionado con los parámetros fisiológicos (Scherr et al, 2012).

### **Figura 1**

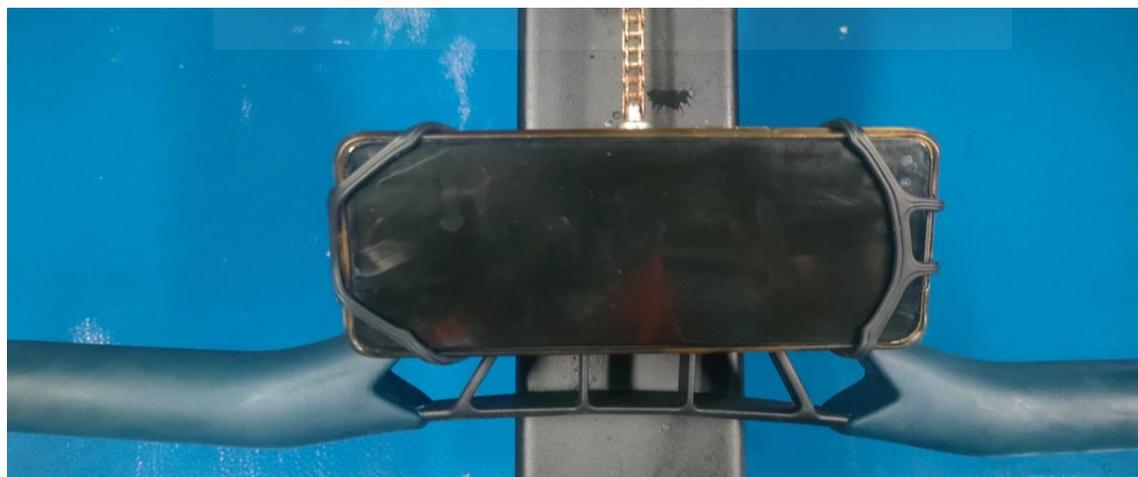
*Modelo Concept 2 Remoergómetro*



*Nota.* Imagen obtenida de la página oficial de Vermont. <https://www.vermontc2.com/es/inicio>

### **Figura 2**

*Ubicación del móvil con el acelerómetro*



## **PROCEDIMIENTO**

En primer lugar, se determinaron las zonas de entrenamiento de cada deportista mediante una prueba incremental PAM adaptada de Mejuto et al (2012). En esta adaptación, a diferencia del test original, se inicia en 100 wattios y se aumentan 10 wattios cada 30 s hasta llegar al agotamiento del deportista (el test original es similar, pero se aumentan 20 vatios cada

minuto). Las zonas de entrenamiento se determinaron según los parámetros fisiológicos establecidos por Lanao (2007) en su tesis doctoral. (Figura 3).

### Figura 3

*Porcentaje de intensidad y frecuencia cardiaca por zonas.*

Zonas	% Pot. Mínima	% Pot. Máxima	F.C mínima	F.C máxima
Zona 0	<50%		<75%	
Zona 1	50%	59%	75%	85%
Zona 2	60%	75%	85%	95%
Zona 3	80%	85%	95%	98%
Zona 4	85%	95%	98%	100%
Zona 5	95%	105%	100%	
Zona 6	105%	115%	100%	
Zona 7	115%	125%	100%	

*Nota.* Figura elaborada en función de la tabla de Lanao (2007).

Tras 1 mes de realizarse la prueba para obtener las zonas de entrenamiento, se llevó a cabo la sesión de la toma de datos. Dicha sesión consistía en un entrenamiento continuo de intensidad variable, entrenamiento con el que los deportistas estaban familiarizados al ser recurrentes durante toda la temporada, cuya duración total era de 15 minutos. Estos 15 minutos se repartían de la siguiente manera: 4 minutos en zona 1; 5 minutos en zona 2; 2 minutos en zona 3; y 4 minutos en zona 1. Ambos tramos en zona 1 son los que se compararon entre sí.

La variable independiente que se utilizó para esta intervención fue la fatiga, utilizando la F.C. y el RPE pasado 1 minuto de la zona 1 como variables de referencia de la fatiga conseguida.

Gracias a los instrumentales mencionados, obtuvimos diferentes series temporales de datos: los vatios por palada, el tiempo por palada, la distancia por palada y la aceleración de la empuñadura del remoergómetro durante la prueba.

Así, obtuvimos las siguientes variables dependientes:

- Promedio de los vatios por palada, el tiempo por palada, la distancia por palada y la aceleración por ejes y el módulo para evaluar los valores medios de cada una de las series temporales.
- La desviación estándar (SD) de los vatios por palada, el tiempo por palada, la distancia por palada y la aceleración por ejes y el módulo para valorar la cantidad de variabilidad.
- El FuzzyEnt de los vatios por palada, el tiempo por palada, la distancia por palada y la aceleración por ejes y el módulo para valorar la estructura de la variabilidad.
- Para la señal de aceleración, en primer lugar, la señal ha sido interpolada a 100 Hz. Se han separado las 2 series de 4 minutos, PRE y POST y se han eliminado los primeros 5 segundos dejando señales de 29500 datos. Estos datos han sido los utilizados para calcular el FuzzyEnt de la aceleración por ejes. De todos los remeros que participaron, uno de ellos fue eliminado de los datos de acelerometría (módulo, eje X, eje Y y eje Z) debido a un fallo en el registro, dejando la muestra en 5 sujetos.
- Para la señal del remoergómetro se han recortado las series de 4 minutos, PRE y POST, eliminando las 3 primeras paladas de cada serie y dejando solamente 69 paladas para igualar los registros de todos los deportistas. Se han separado las columnas de FC, tiempo, distancia y vatios. Para los valores distancia y tiempo por palada, registrados de manera acumulativa, se ha tenido que calcular la diferencia previamente

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para analizar los resultados obtenidos se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 22. Se realizó un ANOVA de medidas repetidas para observar si existían diferencias entre la serie previa a la fatiga y la serie posterior a la fatiga en las diferentes variables dependientes indicadas anteriormente, incluyendo las variables de FC y RPE para poder determinar que existió una fatiga significativa entre la primera y la segunda serie.

## DISCUSIÓN

En primer lugar, lo primero que se pensó que sucedería es que existiera una fatiga real, suficiente y medible, entre la primera serie previa a la fatiga y la segunda serie. Se esperaba que, en este sentido, aumentara tanto la F.C., como el RPE hasta el punto de que existieran diferencias significativas para que posteriormente se pudiera asociar la variabilidad de los movimientos con la fatiga. En este apartado de producir fatiga, no se encontró ningún estudio que recurriera a trabajo que no fuera de fuerza.

Por otro lado, se esperaba que los valores de FuzzyEn de la señal de acelerometría utilizada para determinar la estructura de la variabilidad del movimiento se reduzcan, tal y como sucede en los estudios de Jiang et al (2019), Zhu et al (2020) o Pethick et al (2020). En cuanto a los vatios producidos en las series, se imaginaba que, aunque la media fuera bastante parecida en la serie pre y post fatiga, la desviación estándar fuera superior en la segunda serie por la dificultad de ser constante tras la fatiga producida. Por este mismo motivo se esperaba también una disminución en el tiempo de duración de cada palada al aumentar el ritmo en la segunda serie con el objetivo de mantener la potencia producida, tal y como sucede en el estudio de Lorenzo-Buceta et al (2014) donde se aumenta el ritmo de paladas al final de la competición donde el cansancio es mayor.

Mientras, en la distancia realizada en cada palada, no se esperaba que existieran diferencias significativas, ya que la palada comienza a acortarse de forma considerable a

mayores ritmos, por ese motivo las diferencias existentes en competición que se indican Lorenzo-Buceta et al. (2014).

### **LIMITACIONES**

Este estudio presenta una serie de limitaciones que pueden ser condicionantes a la hora de generalizar los resultados. La limitación principal que tuvo esta intervención es el pequeño número de participantes que tomaron parte en él, y la diferencia de experiencia entre unos y otros. Otra limitación fue el material utilizado, ya que solo se pudo medir la acelerometría desde la empuñadura del remoergómetro y no se pudieron observar otros elementos que los entrenadores también toman en cuenta como es el movimiento del tronco. Tampoco se pudo grabar la sesión para poder obtener estos datos desde el análisis de video.

En cuanto a la zona de intensidad de las series registradas, el rango de vatios y paladas era algo amplio, ya que se utilizaron las zonas con las que están acostumbrados a trabajar los remeros. En este sentido hubiera sido preferible reducir el rango de paladas y de vatios dentro de la zona para poder ser más exactos.

Otras limitaciones que existen es que no se tuvo en cuenta la carga de la semana para la sesión, ignorando de esta manera la fatiga acumulada que pudieran tener los deportistas debido a otros entrenamientos, ya que se realizó la sesión de toma de datos sin descanso de 24 horas e indicando a los deportistas que vinieran como a una sesión de entrenamiento, pero sin asegurar que no tomaran cafeína o alguna otra sustancia que aumentara el rendimiento.

Por otro lado, el número de datos en las series temporales de vatios, distancia y tiempo por paladas, era pequeño, por lo que habría que comprobar la fiabilidad de las herramientas no lineales para estos casos.

En este sentido sería interesante seguir investigando sobre si la variabilidad motora se ve afectada en mayor o menor medida dependiendo del tipo de trabajo que produzca la fatiga, trabajo de fuerza hasta el fallo, trabajo de fuerza sin llegar al fallo, trabajo aeróbico, trabajo

anaeróbico... o teniendo en cuenta la fatiga acumulada por el deportista. También sería interesante realizar una estandarización del protocolo comparando diferentes zonas de intensidad pre y post fatiga, dejando un rango de libertad de vatios y paladas menor al que se plantea en las zonas de Lanao (2007) ya que estas zonas están diseñadas para el entrenamiento y no para un ámbito de investigación.



## REFERENCIAS

- Caballero, C. Barbado, B. Morenos, F.J. (2014) Non-linear Tools and Methodological Concerns Measuring Human Movement Variability: an Overview. *European Journal of Human Movement*, 32(1), 61-81.
- DellaValle, D.M. Haas, J.D. (2013) Quantification of training load and intensity in female collegiate rowers: validation of a daily assessment tool. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (2), 540-548.
- Esteve-Lanao J. (2007, abril 07) *Periodización y Control del Entrenamiento en Corredores de Fondo*. [Tesis Doctoral] Universidad Europea de Madrid, Madrid.
- Foster, C. Rodriguez-Marroyo, J.A. de Koning, J.J. (2017) Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 0 (0) 1-24. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0388>.
- Gandevia, S. C. (2001) Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Review*, 81(4) 1726-1771.
- 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*, 0 (0). 1-16. 10.3389/fphys.2022.1074652.
- Halson, S.L. (2014) Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med*, 44 (2) 139-147. 10.1007/s40279-014-0253-z.
- Impellizzeri, F. Shrier, I. Coutts, J. A. McCall, A. Slattery, K. Jeffries, C, A. Kalkhoven, T. J. (2023) Understanding Training Load as Exposure and Dose. *Sports Medicine*, 0 (0) 1-13.
- Larrinaga, B. León, P. Coca, A. Arbillaga, A. (2023) Análisis de los parámetros de rendimiento del remo de traineras: una revisión sistemática. *Retos*, 2023 (49) 322-332.

- Lorenzo, H. Pérez, S. García, J. L. Arufe, V. Alfonso, X. Alfonso, A (2014) Análisis Dinámico en el remo de banco fijo: la trainera. *Retos*, 2014 (25) 120-123
- Mejuto, G. Arratibel, I. Cámara, J. Puente, A. Iturriaga, G. Calleja-González, J. (2012) The Effect of a 6-week Individual Anaerobic Threshold Based Programme In A Traditional Rowing Crew. *Biology of Sport*, 2012 (29) 51-55.
- McKay, A. Stellingwerff, T. Smith, E. Martin, D. Mujika, I. Goosey-Tolfrey, V. Sheppard, J. Burke, L. (2022) Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *International Journal of Sports and Performance*, 17(3) 317-331
- Mujika, I. (2016) Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 0 (0) 1-25
- Mujika, I. Bourdillon, N. González, R, Millet, P. G. (2023) High-Intensity Interval Training, Performance, and Oxygen Uptake Kinetics in Highly Trained Traditional Rowers. *International Journal of Sport Physiology and Performance*, 18 (2) 1-5.
- Penichet, A. Olmedo, J.M. Pueo, B. Olaya, J (2023) Physiological and Mechanical Responses to a Graded Exercise Test in Traditional Rowing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023 (20) 1-13.
- Pethick, J. Winter, S. L. Burnley, M. (2020). Physiological evidence that the critical torque is a phase transition, not a threshold. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 52 (11), 2390–2401.
- Scherr, J. Bernd, W. Christle, J. Pressler, A. Wagenpfeil, S. Halle, M. (2012) Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European Journal of Applied physiology*, 0 (0) 1-9. 10.1007/s00421-012-2421-x

Zhu, Y. Mehta, R. K. Erraguntla, M. Sasangohar, F. Qaraqe, K. (2020). Quantifying accelerometer-based tremor features of neuromuscular fatigue in healthy and diabetic adults. *IEEE Sensors Journal*, 20 (19), 11183–11190.

