

TRABAJO FIN DE GRADO

**ANÁLISIS DE LA FATIGA NEUROMUSCULAR Y  
CARDIOVASCULAR TRAS DISPUTAR UNA  
MARATÓN DE MONTAÑA**



**AUTOR: LANDART ETXEBERRIA, ASIER**

**DIRECTOR: YANCI IRIGOYEN, JAVIER**

**GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL  
DEPORTE 2017/2018**

## INDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>MÉTODO.....</b>	<b>8</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>23</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>24</b>

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la variación del rendimiento tanto en la capacidad neuromuscular como en la capacidad cardiovascular tras la realización de una maratón de montaña, así como estudiar la asociación entre las demandas de frecuencia cardíaca (FC), carga de la competición o rendimiento físico inicial con la variación de rendimiento neuromuscular y cardiovascular. En este estudio participaron 15 corredores masculinos de montaña ( $36,51 \pm 6,78$  años;  $71,78 \pm 8,33$  kg;  $1,76 \pm 0,04$  m;  $23,01 \pm 2,81$  kg m<sup>-2</sup>) de categoría nacional. Una semana antes (PRE) de realizar una maratón de montaña y 24 h después (POST), se registró la frecuencia cardíaca basal (FCB) de todos los deportistas y realizaron una prueba de determinación de la velocidad de ejecución máxima en un ejercicio de media sentadilla (MSvel), una prueba para medir la capacidad de salto vertical mediante los test de saltos Abakalov (ABK) y Drop Jump (DJ) y una prueba de carrera a ritmo constante en tapiz rodante para medir la capacidad cardiovascular. Desde un punto de vista neuromuscular, a pesar de que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0,05$ ), los corredores de montaña obtuvieron un peor rendimiento en el ABK (TE = -0,64 a -0,65, moderado) POST con respecto al PRE. En el salto Drop Jump, en las variables de tiempo de vuelo (DJ<sub>TV</sub>), altura (DJ<sub>ALT</sub>), potencia (DJ<sub>POT</sub>) e índice de fuerza reactiva (DJ<sub>RSI</sub>) se observó una pérdida significativa de rendimiento ( $p < 0,05$  o  $p < 0,01$ , TE = -0,76 a -1,50, moderado a alto). Con respecto a la prueba de capacidad cardiovascular, a pesar de que el tiempo de agotamiento (Tagot) en la prueba en laboratorio no se observó un descenso significativo del rendimiento entre el PRE y el POST ( $p > 0,05$ , TE = -0,16), sí se observó una menor frecuencia cardíaca máxima (FCmax) en el POST ( $p < 0,05$ , TE = -1,32, alto). Los resultados obtenidos en este estudio evidencian la existencia de fatiga neuromuscular y un descenso en la capacidad de alcanzar la FCmax tras disputar una maratón de montaña.

**Palabras clave:** rendimiento, fuerza, resistencia, salto, competición

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to analyze the variation of performance in both neuromuscular capacity and cardiovascular capacity after performing a mountain marathon, as well to study the association between the demands of heart rate (HR), competition load or initial physical performance with the variation of neuromuscular and cardiovascular performance. 15 mountain male runners from the national category took part in this study ( $36.51 \pm 6.78$  years,  $71.78 \pm 8.33$  kg,  $1.76 \pm 0.04$  m,  $23.01 \pm 2.81$  kg m<sup>-2</sup>). One week before (PRE) of a mountain marathon and 24 h later (POST), the basal heart rate (FCB) of all the athletes was recorded and they made a test of determination of the speed of maximum execution in an squat average exercise (MSvel), a test to measure vertical jumping ability using the Abakalov (ABK) and Drop Jump (DJ) jumps and a treadmill test to measure cardiovascular capacity. From a neuromuscular point of view, although the differences were not significant ( $p > 0.05$ ), the mountain runners obtained a worse performance in the ABK (TE = -0.64 to -0.65, moderate) POST with respect to the PRE. In the Drop Jump jump, in the variables of flight time (DJ<sub>TV</sub>), height (DJ<sub>ALT</sub>), power (DJ<sub>POT</sub>) and reactive force index (DJ<sub>RSI</sub>) a significant loss of performance was observed ( $p < 0.05$  or  $p < 0.01$ , TE = -0.76 to -1.50, moderate to high). Regarding the cardiovascular capacity test, despite the fact that the time of exhaustion (Tagot) in the laboratory test, there was no significant decrease in performance between the PRE and the POST ( $p > 0.05$ , TE = -0.16), a lower maximum heart rate (HR<sub>max</sub>) was observed in the POST ( $p < 0.05$ , TE = -1.32, high). The results obtained in this study show the existence of neuromuscular fatigue and a decrease in the ability to reach HR<sub>max</sub> after a mountain marathon.

**Key words:** performance, strength, endurance, jump, competition

## **INTRODUCCION**

Las carreras de montaña son una modalidad deportiva relativamente joven que en los últimos años ha experimentado un importante aumento de practicantes y de eventos (Egocheaga, 2005). Debido al medio en el que se desarrollan, este tipo de pruebas difieren considerablemente de las carreras de asfalto (Clemente, 2011). Concretamente, el desnivel acumulado (tanto positivo como negativo), el tipo de recorrido en el medio natural (recorrido por caminos de firme muy variado incluyendo zonas embarradas o tramos de rocas), y la presencia de un alto nivel de incertidumbre del medio hacen que estas carreras demanden una exigencia diferente a las carreras de asfalto (Clemente, 2011). Por tanto, las exigencias físicas y técnicas a las que se ven sometidos los corredores de montaña son muy diferentes a otro tipo de pruebas. Desde un punto de vista neuromuscular, además del componente concéntrico o del ciclo estiramiento acortamiento (CEA), común a otras pruebas atléticas (Petersen et al., 2007), las carreras de montaña tienen una mayor implicación del componente de fuerza excéntrica (Egocheaga, 2005), que se manifiesta principalmente en los pronunciados descensos y en algunos elementos técnicos específicos. Desde el punto de vista cardiovascular, con el fin de determinar las demandas de competición en carreras de montaña, algunos estudios anteriores han monitorizado la FC media (FCM) (Esteve-Lanao et al., 2008) o la FC pico (FCpico) (Fornasiero et al., 2007) durante la competición. Además de estas dos variables, otro indicador de carga basado en la FC utilizado en este tipo de pruebas ha sido el TRIMP (Fornasiero et al., 2017, Esteve-Lanao et al., 2008). Sin embargo, existe una importante escasez de artículos científicos que hayan analizado las demandas concretamente en maratones de montaña.

A pesar de que las maratones de montaña, debido principalmente a su duración (aproximadamente entre 4h y 9h), son pruebas donde predomina la

capacidad cardiovascular (Péronnet et al., 1987), la capacidad neuromuscular puede ser también relevante (Minetti et al., 1994). Los corredores de montaña deben superar grandes desniveles y con distinto tipo de terreno (Clemente, 2011), debiendo realizar multitud de cambios de dirección, saltos, amortiguaciones sobre una pierna, variaciones de la zancada y de la pisada. De esta forma, se ha descrito que las carreras de montaña tienen un mayor costo de energía que las carreras de asfalto y que sea más relevante tener un mejor rendimiento de la fuerza muscular (Best et al., 2017). Posiblemente por la importancia de la fuerza muscular, diversos estudios han analizado la fatiga neuromuscular en corredores de montaña. Rousanoglou et al. (2016) observaron una pérdida significativa (-7.9%) de la capacidad de salto vertical tras realizar una media maratón de montaña en 27 corredores con una experiencia media de 5-6 años. En la misma línea, Saugy et al. (2013) obtuvieron una pérdida de la capacidad de contracción voluntaria de los músculos extensores de rodilla (13%) y de los músculos flexores plantares (10%) después de disputar una ultramaratón de montaña de 330 km en corredores altamente experimentados. Giandolini et al. (2016) observaron fatiga neuromuscular tras una prueba de 110 km, manifestada como una pérdida de rendimiento en la contracción voluntaria de los músculos extensores de rodilla (35%) y de los músculos encargados de la flexión plantar (28%) en corredores experimentados en ultra maratones de montaña. A pesar de que en pruebas de montaña con distinta distancia se ha constatado una importante pérdida de rendimiento neuromuscular, son pocos los estudios que analizan este aspecto en maratones de montaña. Conocer la pérdida de rendimiento neuromuscular, concretamente en maratones de montaña, puede aportar información relevante para planificar los entrenamientos y entender la importancia de la fuerza en esta disciplina deportiva.

Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron: 1) analizar la variación del rendimiento tanto en la capacidad neuromuscular como en la capacidad cardiovascular tras la realización de una maratón de montaña y 2) conocer la

ANALISIS DE LA FATIGA NEUROMUSCULAR Y CARDIOVASCULAR TRAS  
DISPUTAR UNA MARATÓN DE MONTAÑA

*Asier Landart Etxeberria*

asociación entre las demandas de FC, carga de la competición o rendimiento físico inicial con la variación de rendimiento neuromuscular y cardiovascular.

## **MÉTODO**

### **Participantes**

En este estudio participaron 15 corredores masculinos de montaña ( $36,51 \pm 6,78$  años;  $71,78 \pm 8,33$  kg;  $1,76 \pm 0,04$  m;  $23,01 \pm 2,81$  kg.m<sup>-2</sup>) de categoría nacional y con licencia federativa en vigor. Todos los participantes tenían al menos seis años de experiencia en competiciones deportivas y tres años de experiencia en carreras de montaña. Entrenaban entre cuatro y seis días a la semana. Antes de la realización del estudio, todos los participantes fueron informados de los objetivos de la investigación, participaron voluntariamente en el estudio, pudieron retirarse del mismo en cualquier momento y firmaron el consentimiento informado. Los procedimientos siguieron las pautas marcadas por la Declaración de Helsinki (2013) y se respetó lo establecido en la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPDGP).

### **Procedimiento**

El estudio se realizó en el mes de marzo, durante la temporada competitiva. Una semana antes (PRE) de realizar una maratón de montaña, se registró la FCB de todos los deportistas y se realizó una prueba de determinación de la velocidad de ejecución máxima en un ejercicio de media sentadilla (MSvel), una prueba para medir la capacidad de salto vertical de los corredores mediante los test de saltos Abalakov (ABK) y Drop Jump (DJ) y una prueba de carrera a ritmo constante en laboratorio para medir la capacidad cardiovascular. Una semana después, todos los atletas realizaron una maratón oficial de montaña. La competición consistió en realizar un trayecto de montaña de 42 km que constaba de una entrada y una salida a un circuito al que había que dar tres vueltas. El desnivel total acumulado de la prueba fue de 4046 m (2023 m positivos y 2023 m negativos). La altura máxima alcanzada en la prueba fue de 627 m y la mínima de 22 m. Durante la competición se registró la FC de manera continua a lo largo de toda la prueba mediante pulsómetros



(Polar V800, Kempele, Finlandia). Veinticuatro horas después de haber finalizado la competición (POST), los deportistas realizaron las mismas pruebas de media sentadilla, saltos y prueba en laboratorio realizada antes de disputar la maratón de montaña. Antes de las sesiones de test todos los deportistas realizaron un calentamiento que consistió en diez min de pedaleo en un cicloergómetro a intensidad ligera y varios saltos verticales. Todos los participantes disponían del material e indumentaria adecuada para la práctica de los test. Los corredores, que no estaban familiarizados con dichos test, llevaron una dieta específica los días previos a la prueba y todos realizaron una semana de descarga antes de realizar la investigación.

## **Mediciones**

**Frecuencia Cardíaca Basal (FCB):** La FCB de los deportistas se midió mediante pulsómetros (Polar V800, Kempele, Finlandia), después de permanecer diez min en posición horizontal sobre la cama nada más despertarse, a las 08:00 de la mañana (George et al., 2008). El valor considerado para el análisis estadístico fue la FCM de los diez min de registro. A todos los corredores se les indicó que no hicieran ejercicio intenso en las 24 h anteriores a la medición.

**Test de media sentadilla (MS):** El test de MS se realizó en una máquina Multipower (BH Max Rack LD400, Vitoria, España); mediante un solo levantamiento antes (PRE) y otro después (POST) de realizar la competición, colocando al participante con los hombros en contacto con la barra con una carga total de 80 kg. Manteniendo el tronco en posición vertical y con los pies separados a una distancia similar a la anchura de los hombros, los participantes realizaron una bajada excéntrica lenta hasta lograr los 90° en flexión de rodillas, tras lo cual se les dio una señal externa para realizar una extensión concéntrica de los miembros inferiores hasta lograr los 180° a la mayor velocidad posible (Izquierdo et al., 2006). La velocidad media del

movimiento concéntrico se midió mediante la aplicación PowerLift versión 4.2.4 para Iphone (Balsalobre-Fernandez et al., 2017)

**Test de salto vertical:** Los participantes realizaron tres saltos con contramovimiento y manos libres (Abalakov, ABK) con un descanso entre los saltos de treinta segundos (Vittori, 1990). Todos los corredores debían partir de una posición erguida y ejecutar una flexión de rodillas de 90° seguida de una extensión lo más rápida posible para alcanzar la mayor altura de salto posible. Para medir el tiempo de vuelo ( $ABK_{TV}$ ) en los saltos se utilizó una plataforma de contacto (Optojump Next, Microgate, Bolzano, Italia). El mejor de los tres registros se utilizó para el análisis estadístico.

La altura alcanzada ( $ABK_{ALT}$ ) se calculó mediante la fórmula:

$$ABK_{ALT} = \frac{g \cdot T_V^2}{8}$$

*Donde  $ABK_{ALT}$  = altura del salto,  $g$  = aceleración de la gravedad.  $T_V$  = tiempo de vuelo*

Posteriormente y transcurridos 2 min, los participantes realizaron tres saltos DJ con un descanso entre los saltos de 30 s. Los saltos DJ consistieron en dejarse caer desde una altura de 30 cm, contactar con el suelo y flexionar las rodillas hasta formar un ángulo de rodillas de 90°, para consecutivamente y, sin pausa, realizar un salto vertical máximo. Para medir el tiempo de vuelo del DJ ( $DJ_{TV}$ ) y el tiempo de contacto ( $DJ_{TC}$ ) del salto se utilizó una plataforma de contacto (Optojump Next, Microgate, Bolzano, Italia). La altura ( $DJ_{ALT}$ ) alcanzada en el salto y potencia ( $DJ_{POT}$ ) se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

$$DJ_{ALT} = \frac{g \cdot T_V^2}{8}$$

$$DJ_{POT} = g^2 \cdot T_V \cdot \frac{(T_V + T_{CON})}{4 \cdot T_{CON}}$$

Donde  $DJ_{ALT}$  = altura del salto,  $g$  = aceleración de la gravedad,  $T_V$  = tiempo de vuelo,  $T_{CON}$  = tiempo de contacto,  $DJ_{POT}$  = potencia en el salto.

**Test de potencia aeróbica máxima:** Los corredores realizaron un test de potencia aeróbica máxima en una cinta ergométrica en laboratorio. El protocolo utilizado consistió en mantener una velocidad constante de 20 km.h<sup>-1</sup>, con una pendiente del 1%, el máximo tiempo posible hasta el agotamiento (Tagot). Durante la prueba se registró la FCmax mediante pulsómetros (Polar V800, Kempele, Finlandia) tomando como referencia la FC más alta alcanzada por los deportistas durante la prueba.

**Carga interna de la maratón de montaña:** Durante la maratón de montaña, la FC de todos los corredores fue monitorizada mediante pulsómetros (Polar V800, Kempele, Finlandia). Durante la prueba se registraron los valores de FCM y la FCpico de la prueba. El valor de la %FCM se obtuvo en relación a la FCmax. Además, se calculó la carga interna de la competición (TRIMP) mediante el método propuesto por Banister et al. (1975) y también utilizado por Borresen & Lambert, (2008). El TRIMP se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$TRIMP = \text{Duración de la prueba (min)} \cdot X \cdot 0.64 \cdot e^{1.92 \cdot X}$$

Donde  $X = (FCM - FCB) / (FCMax - FCB)$ , siendo FCMax la correspondiente al test de potencia aeróbica máxima realizada la semana previa a la competición.

### **Análisis estadístico**

Los resultados se presentan como media  $\pm$  desviación típica (DT) de la media. Para analizar la normalidad de los datos se utilizó el test de Kolomogorov-Smirnov. Para el análisis de las diferencias entre el rendimiento en el PRE-test y el POST-test se utilizó la prueba estadística t de Student para muestras relacionadas. El porcentaje de diferencia PRE-POST, en todas las variables analizadas se calculó mediante la fórmula:  $\text{Dif. (\%)} = 100 \cdot (\text{POST}-\text{PRE})/\text{PRE}$ . Además, se calculó el tamaño del efecto (TE) (Cohen, 1988). Para la interpretación de los valores del TE se usaron los siguientes valores: TE menores a 0,2 se consideran triviales, entre 0,2-0,5, bajos; entre 0,5-0,8; moderados y mayores de 0,8; altos (Cohen, 1988). Las relaciones entre las variables de FC registradas durante la competición (FCM, FCpico, %FCM o TRIMP) y la variación del rendimiento (PRE-POST) en las variables neuromusculares y cardiovasculares se analizaron mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (r). Para la interpretación de los resultados obtenidos en estas correlaciones se utilizaron los valores establecidos por Salaj y Markovic (2011): baja ( $r < 0,3$ ), moderada ( $0,3 < r < 0,7$ ) y alta ( $r > 0,7$ ). El análisis estadístico se realizó con el programa Statistical Package for Social Sciencies (SPSS, versión 23, IBM, New York, EEUU). La significatividad estadística fue de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

Los corredores participantes en este estudio tenían una FCB de  $45,57 \pm 5,60$  lat.min<sup>-1</sup>. La FCM registrada durante el transcurso de la maratón de montaña fue de  $155,93 \pm 8,88$  lat.min<sup>-1</sup> y la FCmax fue de  $184,86 \pm 10,81$  lat/min. El %FCM durante la prueba fue del  $84,35 \pm 4,76\%$ . Durante el transcurso de la prueba el TRIMP de los participantes fue de  $646,36 \pm 104,64$  UA y el tiempo medio en completar la prueba fue de  $4,57 \pm 0,60$  h.

En la tabla 1 se presentan los resultados de la velocidad obtenida en media sentadilla, el rendimiento en el ABK y en el DJ y en la prueba de capacidad cardiovascular obtenidos por los participantes tanto en el PRE como en el POST. No se observó una pérdida significativa en la velocidad al ejecutar la media sentadilla 24 h después de finalizar la maratón de montaña con respecto a los valores PRE ( $p > 0,05$ , TE = -0,41, bajo). Con respecto al ABK, a pesar de que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0,05$ ), los corredores de montaña obtuvieron un peor rendimiento en el POST desde un punto de vista práctico (TE = -0,64 a -0,65, moderado). Por otro lado, en las variables de DJ<sub>TV</sub>, DJ<sub>ALT</sub>, DJ<sub>POT</sub> y DJ<sub>RSI</sub> se observó una pérdida significativa de rendimiento ( $p < 0,05$  o  $p < 0,01$ , TE = - 0,76 a -1,50, moderado a alto). Sin embargo, el DJ<sub>TC</sub> no sufrió modificaciones significativas ( $p > 0,05$ , TE = 0,35, bajo). Con respecto a la prueba de capacidad cardiovascular, a pesar de que en el Tagot no se observó un descenso significativo del rendimiento entre el PRE y el POST ( $p > 0,05$ , TE = -0,16, trivial), sí se observó una menor FCmax en el POST ( $p < 0,05$ , TE = -1.32, alto).

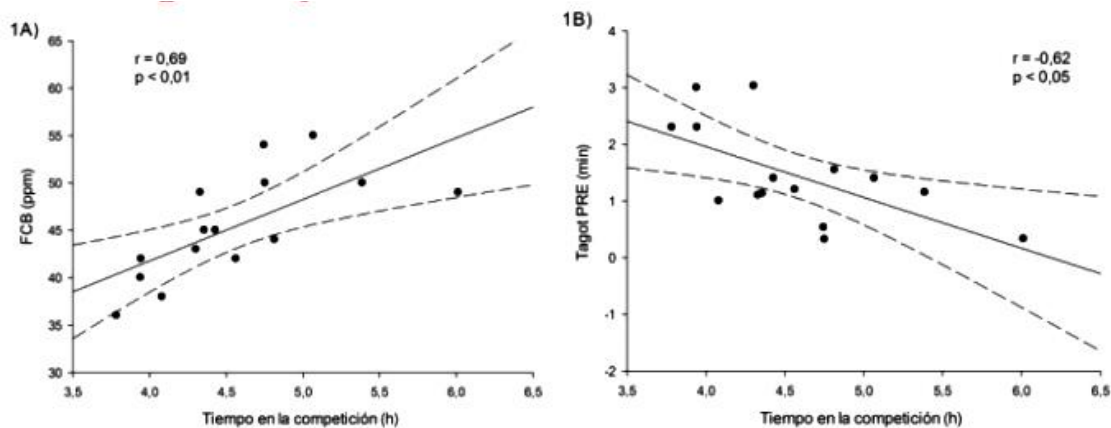
ANÁLISIS DE LA FATIGA NEUROMUSCULAR Y CARDIOVASCULAR TRAS  
DISPUTAR UNA MARATÓN DE MONTAÑA

*Asier Landart Etxeberria*

<b>Tabla 1.</b> Resultados de la velocidad en media sentadilla (MSVel), los saltos ABK y DJ, y el test de capacidad cardiovascular obtenidos por los participantes tanto antes de disputar la competición (Pre) como después de realizarla (Post)				
<b>Variable</b>	<b>Pre</b>	<b>Post</b>	<b>Dif. (%)</b>	<b>TE</b>
<b>Media sentadilla</b>				
<b>MSVel (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0,62±0,11	0,57±0,13	-8,23	-0,41
<b>Salto Abalakov</b>				
<b>ABK<sub>TV</sub> (s)</b>	0,55±0,04	0,53±0,03	-3,58	-0,64
<b>ABK<sub>ALT</sub> (cm)</b>	37,12±4,88	34,31±4,35	-6,58	-0,65
<b>Salto Drop Jump</b>				
<b>DJ<sub>TV</sub> (s)</b>	0,54±0,03	0,50±0,05*	-6,88	-0,76
<b>DJ<sub>TC</sub> (s)</b>	0,27±0,03	0,28±0,05	6,96	0,35
<b>DJ<sub>ALT</sub> (cm)</b>	35,43±4,92	30,79±6,04*	-12,76	-0,77
<b>DJ<sub>POT</sub> (w)</b>	37,40±4,12	31,37±3,40**	-15,75	-1,37
<b>DJ<sub>RSI</sub> (p.s<sup>-1</sup>)</b>	1,27±0,18	1,01±0,17**	-19,69	-1,50
<b>Cap. cardiovascular</b>				
<b>Tagot(min)</b>	1,45±0,86	1,36±0,58	18,96	-0,16
<b>FCmax (lat.min<sup>-1</sup>)</b>	184,93±10,68	173,53±8,65	-6,08	-1,32
TE = tamaño del efecto, Dif. = diferencia de medias en porcentaje, TV = tiempo de vuelo, ALT = altura, TC = tiempo de contacto, POT = potencia, RSI= Índice de fuerza reactiva, Tagot= tiempo de agotamiento en la prueba aeróbica máxima, FCmax = Frecuencia cardiaca máxima				
* (p < 0,05), ** (p < 0,01) diferencias significativas con respecto al resultado PRE.				

Los resultados de este estudio mostraron una asociación significativa entre la FCB y el Tagot en el test de capacidad cardiovascular PRE ( $r = -0,58$ ,  $p < 0,05$ ). Con respecto a las correlaciones entre los valores obtenidos en la competición y los valores de rendimiento en el pretest, el tiempo invertido por los corredores en la competición correlacionó de forma significativa con los

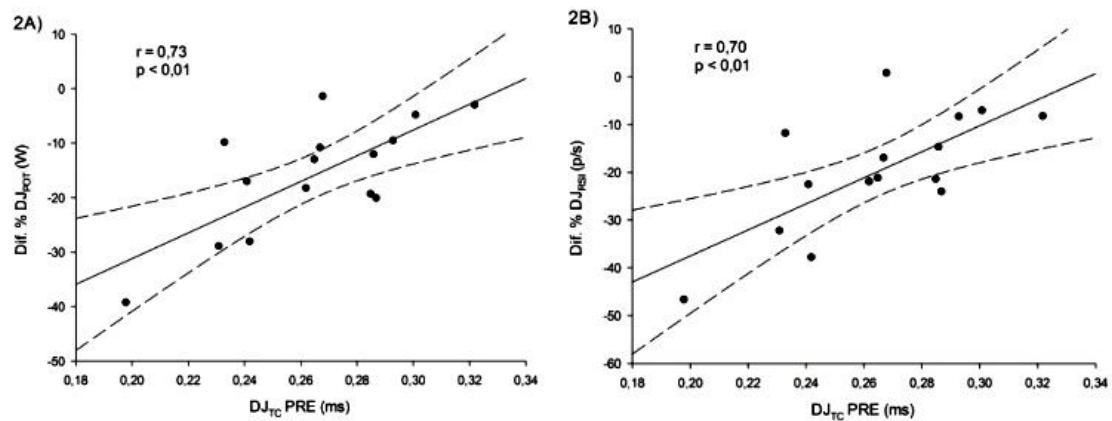
valores tanto de FCB ( $r = 0,69$ ,  $p < 0,01$ ) (Figura 1A) como de Tagot PRE ( $r = -0,62$ ,  $p < 0,05$ ) (Figura 1B). Los valores de FCM en la competición correlacionaron significativamente con los valores obtenidos en el Tagot PRE ( $r = 0,61$ ,  $p < 0,05$ ) y los resultados obtenidos en el TRIMP de la competición correlacionaron con los valores de FCmax en la prueba cardiovascular ( $r = -0,57$ ,  $p < 0,05$ ). Contrariamente a estos resultados, no se observó asociación significativa entre el rendimiento en la prueba (tiempo en la competición) o las variables fisiológicas en la competición (FCM, FCpico, %FCM, TRIMP) con los valores PRE de ABK, DJ o MSvel.



**Figura 1.** Asociación entre el tiempo en la competición y la FCB (Figura 1A) y entre el tiempo en la competición y el tiempo de agotamiento PRE (Figura 1B) FCB = Frecuencia cardiaca basal, Tagot PRE = tiempo de agotamiento en la prueba aeróbica máxima antes de disputar la maratón.

Atendiendo a las asociaciones entre los resultados en las variables de rendimiento PRE y la diferencia de rendimiento PRE-POST competición (Dif %), se observó una asociación significativa entre el Tagot PRE y la Dif % Tagot ( $r = -0,57$ ,  $p < 0,05$ ) y entre la FCmax PRE y la Dif % Tagot ( $r = -0,70$ ,  $p < 0,01$ ). De la misma forma, los resultados tanto en el  $ABK_{TV}$  o  $ABK_{ALT}$  correlacionaron de forma significativa con la Dif %  $ABK_{TV}$ , con la Dif%  $ABK_{ALT}$  y con la Dif %  $DJ_{TV}$  ( $r = -0,54$  a  $0,57$ ,  $p < 0,05$ ). También se observó una asociación

significativa entre el  $DJ_{TC}$  PRE y la Dif%  $DJ_{POT}$  ( $r = 0,73$ ,  $p < 0,01$ ) (Figura 3A) o la Dif%  $DJ_{RSI}$  ( $r = 0,70$ ,  $p < 0,01$ ) (Figura 2B).



**Figura 2.** Asociación entre el  $DJ_{TC}$  PRE y la Dif %  $DJ_{POT}$  (Figura 2A) y entre el  $DJ_{TC}$  PRE y la Dif%  $DJ_{RSI}$  (Figura 2B). DJ= Drop Jump, POT = potencia, RSI = índice de fuerza reactiva, TC = tiempo de contacto.

Con respecto a las asociaciones entre los valores obtenidos en la competición y la diferencia de rendimiento PRE-POST competición (Dif.%), el tiempo invertido en completar la carrera correlacionó de forma significativa con la Dif. %  $DJ_{TV}$ , con la Dif.%  $DJ_{ALT}$ , con la Dif.%  $DJ_{POT}$ , con la Dif.%  $DJ_{RSI}$  ( $r = -0,58$  a  $-0,63$ ,  $p < 0,05$ ) o con la Dif.%  $MS_{vel}$  ( $r = 0,59$ ,  $p < 0,05$ ). Sin embargo, no se observó ninguna asociación significativa entre el tiempo en la competición y la Dif. % en las variables analizadas en el salto ABK. Por último, tanto la FCM ( $r = -0,71$ ,  $p < 0,01$ ) como la FCpico en la competición correlacionaron de forma significativa con la Dif % Tagot ( $r = -0,68$ ,  $p < 0,01$ ).



## **DISCUSIÓN**

Los objetivos de este estudio fueron, 1) cuantificar las respuestas fisiológicas así como la carga interna (TRIMP) de corredores al realizar una maratón de montaña, 2) describir la variación del rendimiento neuromuscular y cardiovascular de los corredores antes y después de disputar una maratón de montaña y 3) analizar la asociación entre la variación en el rendimiento neuromuscular o cardiovascular de los corredores y los parámetros fisiológicos, carga interna y rendimiento deportivo obtenidos en la competición. Cuantificar la fatiga neuromuscular y cardiovascular, expresada como la pérdida de rendimiento físico inducida por una maratón de montaña puede ser importante para poder estimar los efectos agudos de una prueba de estas características y para conocer la implicación tanto del sistema neuromuscular como cardiovascular en pruebas de montaña de larga distancia. Los resultados obtenidos en este estudio muestran una pérdida de rendimiento neuromuscular (pérdida de rendimiento en ABK y DJ) tras la realización de la prueba de montaña. Sin embargo, esta pérdida de rendimiento neuromuscular no está asociada a la FCM, a la FCpico, al %FCM, al TRIMP ni al tiempo empleado por los corredores en la competición. Se ha obtenido una pérdida en la capacidad de alcanzar la FCMax en la prueba de laboratorio realizada después de la maratón (POST) respecto al resultado inicial (PRE) a pesar de no haberse obtenido pérdida de Tagot en el POST. Por otro lado, se ha observado que tener un mejor rendimiento en las pruebas PRE puede mejorar el rendimiento en la competición y minimizar la fatiga PRE-POST. Los resultados obtenidos en este estudio pueden ser relevantes para entrenadores y preparadores físicos ya que aportan información sobre la fatiga neuromuscular tras la realización de una maratón de montaña.

Los parámetros de FCM y FCpico alcanzadas por corredores en competición han sido utilizados para cuantificar las respuestas de los

corredores al disputar carreras de montaña. Concretamente Egocheaga, (2005) observó que corredores de alto nivel en una competición nacional del Maratón Alpino Madrileño (edición de 2004), obtenían una FCM de  $163 \text{ lat.min}^{-1}$ , y una FCpico de  $183 \text{ lat.min}^{-1}$ , similar a la FCM ( $159 \text{ lat.min}^{-1}$ ) y FCpico ( $177 \text{ lat.min}^{-1}$ ) alcanzada por los corredores de montaña durante la competición en el presente estudio. Las pequeñas diferencias en los valores de FC encontradas en los diferentes estudios pueden deberse a que diversos factores pueden influir en las respuestas fisiológicas de los deportistas. Concretamente, El Helou et al. (2012) mostraron que los parámetros ambientales estaban asociados con el rendimiento en el maratón, aspecto que pueden influir también en las respuestas fisiológicas de los deportistas. Además, otros factores como la edad de los participantes (Eichenberger et al., 2012), el nivel de los deportistas (Lanao, et al., 2018), la altitud a la que se realiza la prueba (Behncke, 1994), el desnivel acumulado (Ogueta-Alday, A., & García-López, J., 2016) y la temperatura ambiente (Bergeron, 2014) entre otros aspectos, pueden influir también en las respuestas fisiológicas de los deportistas. Por otro lado, existen pocos estudios con corredores de carreras de montaña que aporten valores de carga interna (TRIMP) durante la competición. En el único estudio que hemos encontrado al respecto el TRIMP obtenido por los corredores fue de  $766 \pm 110$  UA (Fornasiero et al., 2017), netamente superior a las  $632 \pm 131$  UA obtenidas en este estudio. Estas diferencias pueden deberse principalmente a que en el estudio de Fornasiero et al. (2017) los corredores disputaron una ultra maratón de montaña de 65 km y un tiempo de carrera de  $11,8 \pm 1,6$  h, frente a los 42 km de distancia y un tiempo de carrera de  $4,54 \pm 0,75$  h recorrida por los corredores del presente estudio. Estos resultados ponen de manifiesto que la distancia de la prueba y su duración pueden influir en la carga interna (TRIMP). Son necesarios más estudios donde se analice el TRIMP en corredores de maratón de montaña con el fin de observar si otros parámetros pueden influir también la carga interna de los corredores.

Las maratones de montaña, además de ser pruebas de larga distancia, son pruebas con importantes desniveles a salvar. Tanto en el estudio de

Egocheaga, (2005) como en el presente estudio, el desnivel acumulado supera los 4000 m. Desde un punto de vista neuromuscular, además del componente concéntrico o del CEA que tienen también otras pruebas similares (Petersen et al., 2007), las maratones de montaña tienen una importante implicación del componente de fuerza excéntrica (Egocheaga, 2005), que se manifiesta principalmente en los descensos y en algunos elementos técnicos específicos. La multitud de contracciones excéntricas que deben realizar los corredores durante una prueba pueden producir elevados niveles de daño y fatiga muscular (Del Coso et al., 2014). Posiblemente por este motivo, anteriores estudios han analizado la pérdida de rendimiento neuromuscular en corredores de montaña. Por ejemplo, Giandolini et al. (2016) observaron fatiga neuromuscular tras una prueba de 110 km, manifestada como una pérdida de rendimiento en la contracción voluntaria de los músculos extensores de rodilla (35%) y de los músculos encargados de la flexión plantar (28%). En la misma línea, Saugy et al. (2013) después de disputar una ultramaratón de montaña de 330 km, también observaron que los corredores tenían una pérdida de la capacidad de contracción voluntaria de los músculos extensores de rodilla (13%) y de los músculos flexores plantares (10%). Con respecto a la pérdida de rendimiento en la capacidad de salto vertical, Rousanoglou et al. (2016) también observaron una pérdida significativa (8%) en corredores tras realizar una media maratón. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el presente estudio donde también se ha observado una pérdida de rendimiento neuromuscular en la capacidad de salto vertical (3-19%). Debido a la alta fatiga neuromuscular experimentada en este tipo de pruebas de montaña, los corredores de estas modalidades deberían considerar realizar entrenamientos específicos para la mejora de la fuerza muscular con el fin de minimizar la fatiga en las pruebas disputadas. De la misma forma, debido a que la fatiga se ha manifestado pasadas las 24 h de haber disputado la prueba, podría ser interesante implementar programas específicos de recuperación post-competición para este tipo de corredores. Sin embargo, debido a que en este estudio no se ha analizado la variación del rendimiento muscular nada más terminar la prueba y en las horas posteriores, podría ser interesante conocer el

patrón de recuperación neuromuscular en las horas posteriores a la disputa de este tipo de competiciones, tal y como se ha realizado en otros estudios en pruebas de asfalto (Petersen et al., 2007). Asimismo, sería interesante analizar si una mejora en la fuerza muscular de los corredores o la aplicación de programas de entrenamiento específicos de fuerza podrían ser eficaces para minimizar estas pérdidas de rendimiento neuromuscular en corredores de montaña y para mejorar el rendimiento deportivo.

Con respecto a la variación del rendimiento PRE-POST en la prueba de capacidad cardiovascular en laboratorio, los resultados del presente estudio no mostraron un descenso significativo del rendimiento en Tagot, pero sí una pérdida de capacidad por parte de los corredores en alcanzar la FCmax. A pesar de que los deportistas fueron capaces de mantener el Tagot, la FCmax alcanzada en el POST fue menor. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los observados en estudios anteriores realizados con ciclistas profesionales (Lucía et al., 2003; Rodríguez-Marroyo et al., 2009; Rodríguez-Marroyo et al., 2012) donde se observó que la FCmax era menor tras la disputa de grandes vueltas ciclistas o en los momentos finales de las mismas. Se ha expuesto que los diferentes sistemas hormonales podrían sufrir importantes variaciones al final de pruebas de larga duración (Lucía et al., 2001, Lucía et al., 2003), produciéndose una disminución en la sensibilidad a las catecolaminas o un agotamiento del sistema neuroendocrino (Lehman et al., 1992) como causa de fatiga durante la carrera, aspecto que puede influir en la menor capacidad para aumentar la FCmax. Contrariamente a los resultados obtenidos por Rodríguez-Marroyo et al. (2017), donde además del descenso de la FCmax también se observó una pérdida de rendimiento deportivo (potencia) en ejercicio máximo, en el presente estudio, a pesar del descenso de la FCmax en la prueba POST no se observó un menor Tagot (pérdida de rendimiento) en comparación con los resultados PRE. Parece necesario, por tanto, realizar más estudios donde se analice la fatiga así como los procesos de recuperación en corredores de maratones de montaña para dilucidar los motivos del descenso de la FCmax y no del Tagot en una prueba de esfuerzo máximo.

Conocer si la capacidad física inicial de los corredores puede tener influencia en el rendimiento en la competición o incluso en la fatiga post competición, puede ser especialmente relevante para profundizar en el conocimiento de esta modalidad deportiva. En el presente estudio se ha observado que los corredores con menor FCB y mayor Tagot en el test PRE obtuvieron un mejor rendimiento en la competición. Estos resultados concuerdan con las afirmaciones realizadas por anteriores investigadores (Péronnet et al., 1987) donde se manifiesta que una mejor capacidad cardiovascular puede influir en el rendimiento en las pruebas de maratón de montaña. En el presente estudio también se ha observado que aquellos corredores que obtuvieron un mayor Tagot mostraron una menor pérdida de rendimiento cardiovascular POST. Estos resultados apuntan a que una mejor capacidad cardiovascular puede ser beneficioso no solo para mejorar el rendimiento sino también para minimizar la fatiga tras la competición. Por otro lado, con respecto a la capacidad neuromuscular, en el presente estudio se observó que aquellos corredores que obtuvieron un mejor rendimiento PRE en ABK mostraron una menor pérdida en la capacidad neuromuscular. En la misma línea los resultados del presente estudio exponen que valores más altos del  $DJ_{TC}$  se asocian con una mayor pérdida de rendimiento en  $DJ_{POT}$ . Esto puede deberse a que los corredores con menor  $DJ_{TC}$  tienen una mejor capacidad elástico-reactiva que ayude a mejorar el rendimiento deportivo (Ditroilo et al., 2011). Por tanto, teniendo en cuenta que un mejor rendimiento cardiovascular (menor FCB y mayor Tagot), así como un mejor rendimiento neuromuscular (mejor ABK y menor  $DJ_{TC}$ ) pueden mejorar el rendimiento en competición y reducir la fatiga post competición, los entrenadores de deportistas de estas modalidades deportivas deberían considerar centrar sus esfuerzos en mejorar estas capacidades.

De la misma forma conocer si una mayor respuesta de la FC (FCM, FCpico, %FCM, TRIMP) durante la competición o incluso el tiempo invertido en la carrera, pueden estar asociadas a la fatiga, puede ser especialmente relevante. Los resultados de este estudio muestran que los corredores que

menos tiempo invirtieron en la competición tenían una menor pérdida de rendimiento neuromuscular en el DJ y en MSvel. Asimismo, aquellos corredores capaces de correr con una mayor FCM y una mayor FCpico durante la competición, obtienen una pérdida menor de rendimiento en el Tagot POST con respecto al PRE. Estos resultados parecen indicar que los corredores que son capaces de mantener una mayor intensidad de carrera presentan menos fatiga neuromuscular y cardiovascular o que son capaces de recuperar mejor en las 24 h posteriores a la prueba. Estos hallazgos concuerdan con estudios anteriores donde se ha observado que una mejor capacidad cardiovascular influye en la mejor capacidad de recuperación post competición (Darr et al. 1988, Borsheim & Bahr, 2003, Boullosa et al., 2010). Por tanto, teniendo en cuenta que un mejor rendimiento cardiovascular permite, no solo mejorar el rendimiento en la prueba sino también mejorar la recuperación post competición, los entrenadores de corredores de montaña deberían considerar mejorar esta capacidad.

## **CONCLUSIONES**

En el presente estudio se ha observado una pérdida de rendimiento neuromuscular (capacidad de salto vertical), posiblemente debido a la alta exigencia neuromuscular que tiene este tipo de pruebas de montaña. Por lo tanto, los corredores de estas modalidades deberían considerar realizar entrenamientos específicos para la mejora de la fuerza muscular con el fin de minimizar la fatiga neuromuscular en las pruebas disputadas. Con respecto a la capacidad cardiovascular, a pesar de que no se observó un descenso significativo del rendimiento en Tagot en la prueba máxima después de la competición, los corredores de montaña participantes en el estudio evidenciaron una pérdida en la capacidad para alcanzar la FC<sub>max</sub>, posiblemente debido a una variación de los sistemas hormonales producida por las altas exigencias de la prueba. Por último, los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que un mejor rendimiento cardiovascular inicial (menor FCB y mayor Tagot), así como un mejor rendimiento neuromuscular (mejor ABK y menor DJ<sub>TC</sub>) están asociados a un mejor rendimiento en competición y a una menor fatiga post competición. Por lo tanto, mejorar no solo la capacidad cardiovascular sino también la capacidad neuromuscular de corredores de montaña puede ser especialmente beneficioso para el rendimiento.

## REFERENCIAS

- Balsalobre-Fernandez C, Marchante D, Muñoz-López M & Jiménez-Sainz L. (2017). Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1-RM on the bench press exercise. *Journal of Sports Sciences*; 18: 1-7.
- Banister, E.W., Calvert T.W., Savage M.V. & Bach, T. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Aust. Journal of Sports Medicine*. 7:57-61.
- Behncke, H. (1994). Small effects in running. *Journal of Applied Biomechanics*. 10(3): 270-290.
- Bergeron, M. F. (2014). Heat stress and thermal strain challenges in running. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 44(10): 831-838.
- Best, A. & Braun, B. (2017) Using a novel data resource to explore heart rate during mountain and road running. *Physiological Reports*, 5: e13256.
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Quantifying training load: A comparison of subjective and objective methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16-30.
- Børsheim, E. & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14): 1037-60.
- Boullosa, D. A. & Tuimil, J.L. (2010) Rendimiento y recuperación aguda en corredores de resistencia. Motricidad. *European Journal of Human Movement*, 24: 63-75.



- Clemente, V. J. (2011). Modificaciones de parámetros bioquímicos después de una maratón de montaña. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 27: 75-83.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Hillsdale. NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Darr, K. C.; Bassett, D. R.; Morgan, B. J. & Thomas, D. P. (1988). Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *Journal of Physiology*, 254(2): 340-343.
- Del Coso Garrigos, J., Fernández, D., Abián Vicén, J., Salinero Martín, J. J., González-Millán, C., Areces, F. & Pérez-González, B. (2014). La disminución en el ritmo de carrera durante el maratón se relaciona de manera positiva con los marcadores sanguíneos de daño muscular. *PubliCE*. <https://g-se.com/la-disminucion-en-el-ritmo-de-carrera-durante-el-maraton-se-relaciona-de-manera-positiva-con-los-marcadores-sanguineos-de-dano-muscular-1701-sa-B57cfb2724220f>
- Ditroilo, M., Watsford, M., Fernandez-Pena, E., D'amen, G., Lucertini, F., & De Vito, G. (2011). Effects of fatigue on muscle stiffness and intermittent sprinting during cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(5): 837-845.
- Egocheaga, J. (2005). Condición física y requerimientos metabólicos en maratonianos de montaña de alto nivel. *Apunts Medicina de l'Esport*, 146: 31-36.
- Eichenberger, E., Knechtle, B., Rüst, C. A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2012). Age and sex interactions in mountain ultramarathon running – the Swiss Alpine Marathon. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 3: 73–80.

- El Helou, N., Tafflet, M., Berthelot, G., Tolaini, J., Marc, A., Guillaume, M., ... & Toussaint, J. F. (2012). Impact of environmental parameters on marathon running performance. *PloS One*, 7(5): e37407.
- Esteve-Lanao, J., Lucia, A., & Foster, C. (2008). How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? *PLoS One*, 3(8): e2943.
- Fornasiero, A., Savoldelli, A., Fruet, D., Boccia, G., Pellegrini, B., Schena, F. (2017). Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *Journal of Sports Sciences*. Sep 4:1-9.
- George, J. D., Fisher, A. G., & Verhs, P. R. (2007). Tests y pruebas físicas (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Giandolini, M., Gimenez, P., Temesi, J., Arnal, P. J., Martin, V., Rupp, T., ... & Millet, G. Y. (2016). Effect of the fatigue induced by a 110-km ultramarathon on tibial impact acceleration and lower leg kinematics. *PloS One*, 11(3): e0151687.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., & Gorostiaga, E. M. (2006). Efectos de la Suplementación con Creatina sobre la Potencia Muscular, la Resistencia y la Velocidad en Jugadores de Balonmano. *PubliCE*. <https://g-se.com/efectos-de-la-suplementacion-con-creatina-sobre-la-potencia-muscular-la-resistencia-y-la-velocidad-en-jugadores-de-balonmano-751-sa-x57cfb2717f5f2>
- Lehmann, M., Baumgartl, P., Wiesenack, C., Seidel, A., Baumann, H., Fischer, S., Spöri, U., Gendrich, G., Kaminski, R., Keul, J. (1992) Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and sommetabolic parameters in experienced middle- and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*; 64: 169–177.

- Lucía A, Díaz B, Hoyos J, Fernández C, Villa G, Bandrés F, Chicharro JL. (2001) Hormone levels of worldclass cyclists during the Tour of Spain stage race. *British Journal of Sports Medicine*. 35: 424–430.
- Lucía A, Hoyos J, Santalla A, Earnest C. (2003) Tour de France versus Vuelta a España: Which is harder? *Medicine and science in sports and exercise*. 35: 872–878.
- Minetti, A. E., L. P. Ardigo, and F. Saibene. (1994). Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradientrunning in humans. *Journal of Experimental Biology*. 195: 211–225.
- Ogueta-Alday, A., & García-López, J. (2016). Factores que afectan al rendimiento en carreras de fondo. RICYDE. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 12(45): 278-308.
- Péronnet, F., Thibault, G., Rhodes, E. C., & McKenzie, D. C. (1987). Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(6): 610-615.
- Petersen, K., Hansen, C. B., Aagaard, P., Madsen, K. (2007). Muscle mechanical characteristics in fatigue and recovery from a marathon race in highly trained runners. *European journal of applied physiology*, 101(3): 385-396.
- Rodríguez-Marroyo JA, García López J, JuneauCE, Villa JG. (2009) Workload demands in professional multi-stage cycling races of varying duration. *British Journal of Sports Medicine*; 43:180-185.
- Rodríguez-Marroyo JA, Villa G, García-López J, Foster C. (2012) Comparison of heart rate and season ratio of perceived exertion methods of defining exercise load in cyclists. *Journal of Strength & Conditioning Research*. 26: 2249–2257.

ANALISIS DE LA FATIGA NEUROMUSCULAR Y CARDIOVASCULAR TRAS  
DISPUTAR UNA MARATÓN DE MONTAÑA

*Asier Landart Etxeberria*

Rousanoglou EN, Noutsos K, Pappas A, Bogdanis G, Vagenas G, Bayios IA, Boudolos, KD. (2016) Alterations of Vertical Jump Mechanics after a Half-Marathon Mountain Running Race. *Journal of Sports Science Medicine*. May 23;15(2):277-86.

Salaj, S., Markovic, G. (2011). Specificity of jumping, sprinting, and quick change of direction motor abilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5): 1249-1255.

Saugy, J., Place, N., Millet, G.,Y., Degache, F., Schena, F., & Millet, G. P. (2013). Alterations of neuromuscular function after the world's most challenging mountain ultra-marathon. *PLoS One*, 8(6): e65596.

Vittori, C. (1990). El entrenamiento de la fuerza para el sprint. *Revista de Entrenamiento Deportivo (R.E.D.)*, 4 (3): 2-8.