

# Relación entre indicadores biomecánicos y psicofisiológicos y el rendimiento en una carrera de montaña vertical

## Relationship between biomechanical and psychophysiological indicators and performance in a vertical mountain race

Lluc Montull<sup>1</sup>, Jordi Martín<sup>1</sup>, Toni Caparrós<sup>1,2</sup>, Josep Maria Padullés<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (INEFC), Barcelona, España.

<sup>2</sup> SPARG Research Group, Universitat de Vic, Vic, España.

### CORRESPONDENCIA:

Lluc Montull

llucmontull@gmail.com

Fecha Recepción: mayo de 2018 • Fecha Aceptación: enero de 2019

### CÓMO CITAR EL ARTÍCULO:

Montull, L., Martín, J., Caparrós, T., & Padullés, J. M. (2020). Relación entre indicadores biomecánicos y psicofisiológicos y el rendimiento en una carrera de montaña vertical. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 15(43), 27-34.

## Resumen

Con el objetivo de conocer la relación entre indicadores biomecánicos y psicofisiológicos, así como las posibles diferencias psicofisiológicas pre-post y entre el uso o no de bastones con el rendimiento en las subidas en corredores de montaña, se realiza un estudio prospectivo y descriptivo de una carrera de montaña vertical. Para ello, se analizaron variables biomecánicas (velocidad, y manifestaciones de fuerza y potencia) y psicofisiológicas (lactato, frecuencia cardíaca y percepción subjetiva de fatiga) en un total de nueve ( $n = 9$ ) corredores experimentados, divididos en dos grupos según su uso ( $n = 4$ ) o no ( $n = 5$ ) de bastones durante la carrera. Se realizan análisis no paramétricos para determinar las posibles relaciones entre variables, diferencias entre grupos y diferencias entre los valores psicofisiológicos previos y posteriores a la prueba. Los resultados no presentan diferencias ni correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) de rendimiento entre los que usaron bastones o no. Hay diferencias significativas entre las variables psicofisiológicas previas y posteriores, además de relaciones del rendimiento (tiempo final y relación de tiempo con el primer clasificado) con mayor frecuencia cardíaca media y máxima, así como una menor acumulación de lactato. Se concluye que un mejor rendimiento en una carrera de montaña vertical se asocia a una mayor eficiencia fisiológica pero no a mayores manifestaciones de fuerza y potencia de salto en corredores entrenados.

**Palabras clave:** Rendimiento; subida; bastones; potencia; eficiencia fisiológica

## Abstract

In order to know the relationship between biomechanical and psychophysiological indicators, as well as the possible pre-post psychophysiological differences and the use of poles in the uphill performance on mountain runners, we performed a prospective and descriptive study of one vertical mountain race. Thus, it was analysed biomechanical (speed and strength/power manifestations) and psychophysiological variables (lactate, heart rate and subjective perception of fatigue) with a total of nine ( $n = 9$ ) experienced runners divided into groups to use ( $n = 4$ ) or not ( $n = 5$ ) poles during the race. Nonparametric analyses were performed to observe the correlations between variables, the differences between groups and the differences between the psychophysiological values before and after the test. The results do not present significant ( $p < 0.05$ ) differences or correlations of performance between those that used poles or not. There are significant differences between the psychophysiological variables pre and post, in addition they show correlations of performance (final time and relation of time with the first classified) with higher mean and maximum heart rate, as well as a lower lactate accumulation. It is concluded that a better performance in a mountain vertical race is associated to higher physiological efficiency but not to greater strength and power jump manifestations in trained runners.

**Key words:** Performance; uphill; poles; power; physiological efficiency.

## Introducción

Las carreras por montaña han experimentado un auge de participación en los últimos años (Hoffman, Ong, & Wang, 2010; Sehovic, Knechtle, Rüst, & Rosemann, 2013), ligado a un aumento de competiciones y modalidades. Entre ellas, la modalidad vertical consistente en carreras de subida con una pendiente mínima del 20% y algunos sectores por encima el 33%, con cinco kilómetros máximo de distancia (International Skyrunning Federation, 2018).

Esta modalidad única de carrera, definida por realizarse en terrenos y pendientes variables, exige cambios mecánicos como la modificación del paso y de la fuerza de reacción, y consecuentemente del coste energético (Degach et al., 2013; Padulo, Powell, Milia, & Ardigo, 2013). La elevada constancia de cambio para adaptarse al entorno y situaciones de carrera provoca que los corredores pasen de correr a caminar, y viceversa, presentando constantes transiciones y mucha variabilidad en la velocidad, lo cual afecta consecuentemente la eficiencia de carrera (Minetti, Ardigo, & Saibene, 1994). Estas peculiaridades de las carreras verticales, como también el uso complementario de bastones, pueden inducir unas respuestas biomecánicas (velocidad y fuerza) y psicofisiológicas únicas en los practicantes.

El objetivo final de rendimiento en la carrera a pie es lograr una mayor potencia relativa, deporte en el cual el/la corredor/a tiene que desplazar mediante manifestaciones de fuerza el propio peso para conseguir una mayor velocidad media de carrera en una determinada distancia. En las carreras verticales hay una carencia bibliográfica respecto los efectos de las manifestaciones de fuerza en el rendimiento, partiendo que las diferencias de activación muscular del tren inferior en subida en comparación en llano (Cai et al., 2010) comportan unas adaptaciones sistémicas específicas a la variabilidad del entorno en las carreras por montaña. No obstante, hay divergencia en los beneficios del entrenamiento de fuerza en carreras llanas, García-Manso, Arriaza-Ardiles, Valverde, Moya-Vergara, & Mardones-Tare (2017) demuestran que el trabajo de fuerza concurrente al entrenamiento de resistencia no conlleva mayores beneficios (rendimiento en carreras de media y larga duración, así como la fuerza y el consumo máximo de oxígeno abreviado como  $VO_{2max}$ ) que entrenar solo la carrera.

Aunque por otro lado sí que se han observado efectos positivos del entrenamiento de fuerza en la economía de carrera (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Turner, Owings, & Schwane, 2003), y específicamente mediante el entrenamiento de fuerza explosiva hay mejoras

de potencia muscular que optimizan el rendimiento en carrera (Häkkinen et al., 2003; Paavolainen, Häkkinen, Hamalainen, Nummela, & Rusko, 1999). Además, contextualizado a las carreras por montaña, la fuerza muscular de los extensores de rodilla se asocia a la mejora del rendimiento en una ultra-maratón de montaña según Balducci, Cléménçon, Trama, Blache, & Hautier (2017). Así pues, resultaría interesante conocer los valores de potencia en corredores de carreras verticales, observando como influyen en el rendimiento de este tipo de carreras con unas características tan específicas.

Las elevadas pendientes, y en algunas carreras también se añade la larga distancia, provoca que haya corredores que usen los bastones como implementos, los cuales modifican naturalmente la coordinación y fuerza producida. Aunque la literatura al respecto es limitada en relación al rendimiento que pueda tener su uso, se afirma que el uso de bastones reduce la sensación de fatiga y el índice de daño muscular gracias a la disminución en la activación muscular del tren inferior a cambio de un aumento de la activación del tren superior (Foissac, Berthollet, Seux, Belli, & Millet, 2008), ayudando a prevenir de sobrecargas y manteniendo por más tiempo la funcionalidad muscular (Daviaux & Hintzy, 2012; Howatson et al., 2011). Si bien sus beneficios presentan mayor claridad en carreras de larga duración, aunque dependen de factores individuales coordinativos y factores de carrera como la pendiente, se propone dar respuesta al efecto de rendimiento que puedan tener en carreras verticales.

Finalmente, dentro la especificidad de estas carreras, se pretende también dar información de las respuestas a nivel psicofisiológico. Los corredores de resistencia presentan generalmente en carrera una predominancia metabólica de la vía aeróbica, pero con la participación sistémica también de las vías anaeróbicas y la consecuente respuesta de acumulación de lactato variando en función de la intensidad de carrera (Farrell, Wilmore, Coyle, Billing, & Costill, 1979; MacDougall, 1977). Tanto los niveles de lactato como la frecuencia cardíaca y la percepción subjetiva de esfuerzo o fatiga han sido utilizados como indicadores tradicionales de intensidad del ejercicio y de carga interna (Mujika, 2006; Weltman et al., 1990), relativizándose en los valores propios a cada individuo y contexto (Karvonen & Vuorimaa, 1988). Mientras la evolución de la frecuencia cardíaca muestra una relación más estrecha con la percepción subjetiva de esfuerzo, tanto lactato como  $VO_2$  expresan comportamientos variables más independientes (Gamberale, 1972). El lactato, como indicador de rendimiento en carreras de resistencia presenta controversias entre la comunidad científica y deportiva, aunque en determinados estudios se obser-

van asociaciones de rendimiento con la acumulación de lactato y el umbral anaeróbico (Ghosh, 2004; Santos, Granados, Bidaurrazaga, Zabala-Lili, Irazusta, & Gil, 2013). Podría ser relevante, por lo tanto, conocer la participación aeróbica y anaeróbica, y las respuestas fisiológicas, así como la percepción subjetiva de fatiga (respuesta psicológica) en este tipo de carreras, observando la relación con el rendimiento.

La finalidad principal de esta investigación es determinar qué variables biomecánicas y psicofisiológicas de los corredores son indicadores de rendimiento en una prueba de montaña vertical. Se establecen inicialmente como hipótesis que el rendimiento en una prueba vertical será mejor en corredores que (1) usen bastones debido a los beneficios que aportan principalmente en la funcionalidad muscular (Daviaux & Hintzy, 2012; Foissac et al., 2008; Howatson et al., 2011), que (2) muestren mayores valores de potencia relativa como resultado positivo al rendimiento en carrera (Häkkinen et al., 2003; Paavolainen et al., 1999; Turner et al., 2003), y que (3) psicofisiológicamente sean capaces de mantener un esfuerzo sistémico mayor a partir de una intensidad relativa (frecuencia cardíaca y percepción subjetiva de fatiga) mayor (Karvonen & Vuorimaa, 1988; Mujika, 2006) y una menor acumulación de lactato en sangre gracias a una mayor eficiencia fisiológica (Ghosh, 2004). Los objetivos, por lo tanto, son observar las diferencias de rendimiento entre un grupo que use bastones y otro que no, y determinar si hay asociaciones entre variables biomecánicas de salto (incluyendo la potencia relativa) y variables psicofisiológicas que varían su comportamiento (lactato, frecuencia cardíaca y percepción subjetiva de fatiga) con el rendimiento. Para evaluar también el cambio de comportamiento en una carrera vertical de las variables psicofisiológicas se pretende observar las diferencias previas y posteriores a la prueba.

## Método

### Participantes

La muestra la formaron nueve corredores experimentados (más de dos años compitiendo en carreras de montaña verticales y más de cinco horas/semana de entrenamiento) durante el kilómetro vertical Vall de Ribes XS 2016 (de un total de 83 participantes de todos los niveles), en Ribes de Freser, el 16 de abril de 2016. Todos ellos eran hombres, divididos en dos grupos, cuatro que utilizaron bastones ( $30.2 \pm 7.3$  años,  $1.8 \pm 0.1$  m,  $70.0 \pm 6.2$  kg) y cinco que no los utilizaron ( $31.2 \pm 9.0$  años,  $1.7 \pm 0.1$  m,  $65.2 \pm 7.0$  kg). De acuerdo a la Declaración de Helsinki, revisada en Fortaleza

(2013), los participantes fueron informados del objetivo y naturaleza del estudio y se les dio la oportunidad de reclinar la inclusión de sus datos para contar con su consentimiento informado. A los deportistas se les asignó un código identificador individual, asegurando su anonimato.

### Procedimiento

La prueba consiste en un recorrido de 4600 m, cuyo desnivel positivo es continuo y acumulado de 1080 m, hasta una altitud máxima de 2010 m. 30 minutos previos a la prueba, y sin calentamiento previo, se evaluaron las variables biomecánicas (pruebas de salto) y psicofisiológicas. Seguidamente los sujetos realizaron un calentamiento de carrera continua de 10 minutos antes de empezar la prueba. Durante la prueba se obtuvieron variables de rendimiento, biomecánicas y fisiológicas. Una vez finalizada, y con la mayor inmediatez, solamente se obtuvieron variables psicofisiológicas posteriores al esfuerzo.

### Variables estudiadas

#### Rendimiento

El rendimiento (R) de cada corredor se determinó como el porcentaje de relación de tiempo de dicho corredor en realizar la competición ( $T_n$ ) respecto el primer clasificado de la prueba ( $T_1$ ). Tiempos cronometrados por la propia organización con *chip* (colocado debajo el propio dorsal y con sistema de cronometraje RFID). Un rendimiento que no depende únicamente del tiempo final del corredor sino también en relación al primer clasificado, máximo referente de rendimiento en esta determinada situación. El tiempo total ( $T_t$ ) es resultado de la media de tiempos en la muestra de corredores.

$$R = 100 - (T_n / (T_1 \cdot 0,1))$$

#### Variables biomecánicas

Se obtuvieron datos proporcionados por *Global Positioning System* (GPS) de relojes Suunto Ambit (Suunto Oy, Vantaa, Finland), registrando la velocidad media ( $V_{med}$ ) y la velocidad máxima ( $V_{máx}$ ) de carrera.

Se valoró la potencia de los corredores mediante el test de Bosco (Bosco, Luhtanen, & Komi, 1983), 30 minutos antes de empezar la competición sin calentamiento previo (Arteaga, Dorado, & Calbet, 2000), en los saltos de Contramovement Jump (CMJ) como variable de fuerza explosiva y de fuerza elástica, y el test de Abalakov (ABK), ídem al CMJ pero con la intervención coordinativa de los brazos (Baiget et al.,

2016). Hubo una familiarización previa de los saltos para ejecutarlos correctamente. Estos test se gravaron con una cámara Exilim F1 Casio Japan a 300 Hz y posteriormente se analizó el tiempo de vuelo ( $T_v$ ) a partir del software de Kinovea-0.8.15 (Balsalobre-Fernández, Tejero-González, del Campo-Vecino, & Bavaresco, 2014; Valdecabres, Trigueros, Casal, & Pablos, 2017), obteniendo posteriormente de forma indirecta la altura de vuelo ( $Av$ ) y la velocidad de despegue ( $V$ ) según Bosco et al. (1983). Además, se calculó a partir de la fórmula de Harman et al. (Harman, Rosenstein, Frykman, Rosenstein, & Kraemer, 1991), la potencia media absoluta ( $P$ ) y la relativa al peso del sujeto ( $Pr$ ).

$$\begin{aligned} Av (m) &= 1.226 \cdot Tv^2 \\ V (m/s) &= 4.9 \cdot Tv \\ P (W) &= 21.2 \cdot Av + 23.0 \cdot peso + 1.393 \\ Pr (W/kg) &= P / peso \end{aligned}$$

Fue calculado el índice de utilización de brazos ( $Iub$ ) para determinar la aportación coordinativa de los brazos en el salto, utilizando los valores de  $Av$  de los test CMJ y ABK (Bosco et al., 1983):

$$Iub (\%) = (ABK - CMJ) / CMJ \cdot 100$$

#### Variables psicofisiológicas

Se utilizaron varios indicadores psicofisiológicos. La frecuencia cardíaca (FC) en latidos por minuto fue recogida con pulsómetros (Suunto ANT, Suunto Oy, Vantaa, Finland) colocados en contacto con la zona torácica durante toda la prueba (Karvonen & Vuori-maa, 1988), ofreciendo la frecuencia cardíaca mínima (FC<sub>m</sub>), media o promedio (FC<sub>p</sub>), máxima (FC<sub>M</sub>) y la relación entre la frecuencia cardíaca media y máxima (FC<sub>p</sub>/FC<sub>M</sub>), como parámetro de intensidad del ejercicio (Weltman et al., 1990). Antes de la prueba se registró la frecuencia cardíaca en reposo (FC<sub>1</sub>), y cinco minutos después de finalizar la prueba, la recuperación del esfuerzo (FC<sub>2</sub>).

En el caso del lactato (mmol/l) se analizó 30 minutos antes (L1) y tres minutos después de la prueba (L2) para evitar una disminución de los niveles de lactato (Buchfuhrer et al., 1983; Goodwin et al., 2007), con el objetivo de valorar la participación anaeróbica láctica como una de las causas de fatiga (Westerblad, Allen & Lännergren, 2002), mediante Lactate Pro (Phill Bates Sports Promotions Pty Ltd, Carlton, Australia) y extrayendo sangre del dedo índice derecho (Sánchez, Ruiz, & Martín, 2011).

Además se preguntó la percepción subjetiva de fatiga sobre la escala de 10 (adaptada a Bernstein & Gar-

finkel, 1992) 30 minutos antes de empezar (PSF1) y justo al finalizar la prueba (PSF2).

#### Análisis estadístico

Estudio transversal prospectivo a partir de variables de rendimiento, biomecánicas y psicofisiológicas. El estudio descriptivo incluye media y desviación típica. La distribución de datos de las variables se encuentra fuera de la normalidad según Shapiro-Wilk ( $p > 0.05$ ), estableciendo análisis no paramétricos para comparar las diferencias significativas de todas las variables entre el grupo que utilizó bastones y el que no (U de Mann-Whitney) así como las diferencias previas y posteriores a la prueba entre las variables psicofisiológicas ( $z$  de Wilcoxon). Finalmente, se utilizó la correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre todas las variables (" $***p < 0.01$ " y " $*p < 0.05$ "), incluyendo las variables antropométricas de edad, peso y altura de los corredores. Los análisis se computaron con el software IBM SPSS Statistics 23.

## Resultados

### Rendimiento

El tiempo final de los corredores participantes resulta de  $55.65 \pm 5.48$  min ( $3339 \pm 329$  s), mientras el porcentaje de tiempo en relación al primer clasificado (R) es de  $76.97 \pm 7.97$  (%).

### Variables biomecánicas

La  $V_{med}$  fue de  $1.44 \pm 0.26$  m/s y la  $V_{máx}$  de  $3,66 \pm 0,94$  m/s. Los datos obtenidos de los diferentes test de Bosco (Fig. 1) muestran en primer lugar los valores de  $T_v$ , la  $Av$  y la  $V$ , siendo mayores en el test ABK en comparación al CMJ. Por otro lado, los valores de  $P$  y  $Pr$  son prácticamente iguales en ambos test de salto (Figura 1). Aparte, el  $Iub$  calculado es de  $15.05 \pm 8.89\%$ .

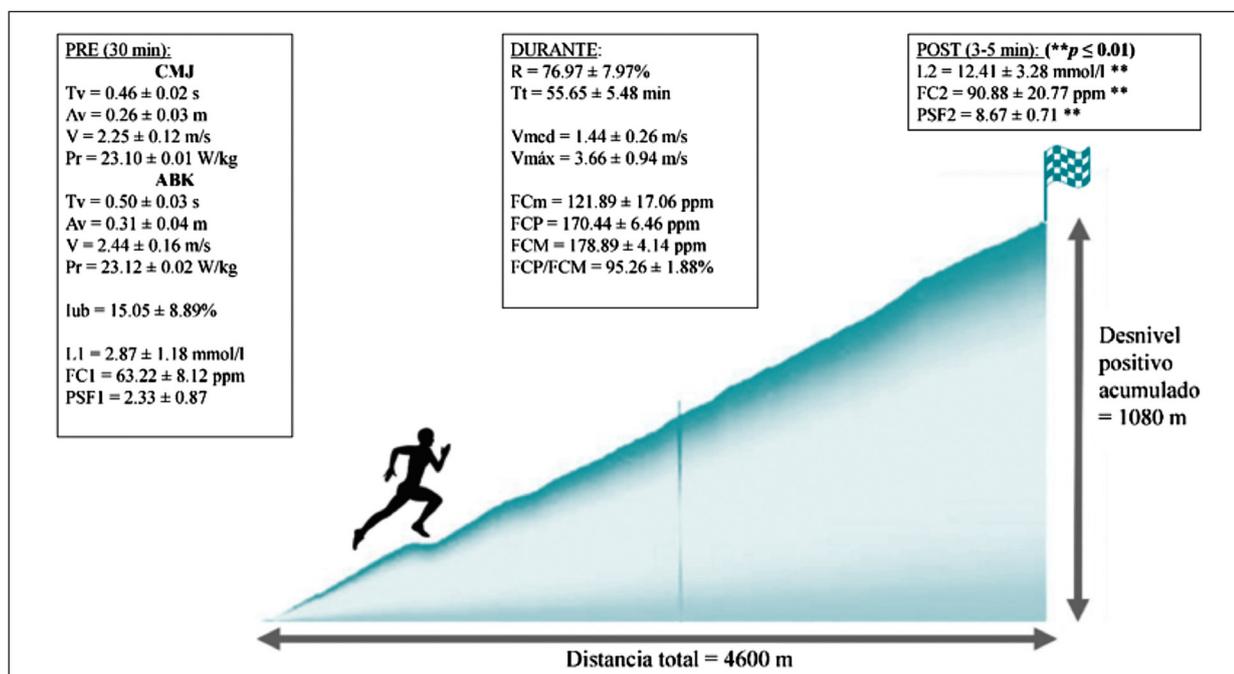
### Variables psicofisiológicas

#### Lactato

Los valores medios de L1 respecto L2 (Figura 1), aumentaron  $9.55$  mmol/l.

#### Frecuencia cardíaca

La FC<sub>1</sub> respecto la FC<sub>2</sub> (Figura 1) aumentó  $27.67$  ppm. Durante la prueba, los valores de FC<sub>m</sub> presentan una alta desviación de la media, reducida en los valores de FC<sub>p</sub> y FC<sub>M</sub> las cuales muestran una relación del  $95.26 \pm 1.88\%$  (Figura 1).



**Figura 1.** Valores medios de las variables obtenidas pre-, durante y -post a la prueba vertical (4600 metros, 1080 metros desnivel positivo), comparando a partir de Wilcoxon las diferencias significativas pre- y -post de las variables psicofisiológicas.

**Legenda:** CMJ = Contramovement Jump (previo); ABK = Abalakov (previo); Tv = Tiempo vuelo (salto); Av = Altura vuelo (salto); V = Velocidad de despegue (salto); Pr = Potencia de salto relativa al peso; Iub = Índice de utilización de brazos; L1 = Lactato previo; FC1 = Frecuencia cardíaca previa; PSF1 = Percepción subjetiva al esfuerzo previa; R = Rendimiento (porcentaje de tiempo respecto el primer clasificado); Tt = Tiempo total; Vmed = Velocidad media; Vmáx = Velocidad máxima; FCm = Frecuencia cardíaca mínima; FCP = Frecuencia cardíaca media; FCM = Frecuencia cardíaca máxima; FCP/FCM = Porcentaje relativo entre FCP y FCM; L2 = Lactato posterior; FC2 = Frecuencia cardíaca posterior; PSF2 = Percepción subjetiva al esfuerzo posterior.

### Percepción subjetiva de fatiga

La PSF1 sobre una escala de 10 (donde 1 es mínima percepción y 10 máxima) incrementó  $6.34 \pm 0.16$  en relación PSF2 al finalizar la prueba (Fig. 1).

### Diferencias y asociaciones entre variables

No se encontraron diferencias significativas ni en el R ni Tt entre el grupo que utilizó bastones y el grupo que no los utilizó. Tampoco hay asociaciones significativas entre variables biomecánicas y psicofisiológicas ni de R entre utilizar bastones o no. El R como el Tt solamente muestra asociaciones significativas (Tabla 1) con variables fisiológicas como la FCM ( $\rho = 0.76$ ,  $p = 0.02$ ;  $\rho = -0.88$ ,  $p = 0.002$  respectivamente), y también el Tt con la FCP ( $\rho = -0.76$ ,  $p = 0.02$ ) y el L2 ( $\rho = 0.78$ ,  $p = 0.02$ ). La Vmed siguiendo la misma línea se relaciona con la FCP ( $\rho = 0.67$ ,  $p = 0.04$ ) y la FCM ( $\rho = 0.77$ ,  $p = 0.02$ ). No se observaron relaciones entre altura con las otras variables del estudio, mientras el peso se relaciona de forma negativa con la potencia absoluta de salto en CMJ ( $\rho = -0.77$ ,  $p = 0.02$ ) y ABK ( $\rho = -0.75$ ,  $p = 0.02$ ) y la edad se asocia también negativamente con la Vmáx de los corredores ( $\rho = -0.76$ ,  $p = 0.02$ ).

Las variables provenientes de los test de Bosco destacan en sus relaciones (Tabla 1) del Iub, la PrABK y

el test ABK (Tv, Av y V) con la PSF2 ( $\rho = -0.87$ ,  $p = 0.002$ ;  $\rho = -0.73$ ,  $p = 0.02$ ;  $\rho = -0.69$ ,  $p = 0.04$  respectivamente). En referencia al test CMJ (Tv, Av y V) se observa relación con la FC2 ( $\rho = -0.68$ ,  $p = 0.04$ ).

Finalmente, respecto a otras variables psicofisiológicas, resaltan las asociaciones (Tabla 1) entre L1 y FC1 ( $\rho = 0.85$ ,  $p = 0.004$ ), y L2 con FCP ( $\rho = -0.68$ ,  $p = 0.04$ ) y FCM ( $\rho = -0.75$ ,  $p = 0.02$ ). Por otro lado, las diferencias estadísticamente significativas (Fig. 1) entre variables psicofisiológicas de los valores previos y posteriores a la prueba son presentes tanto en lactato ( $z = -2.66$ ,  $p = 0.01$ ), frecuencia cardíaca ( $z = -2.49$ ,  $p = 0.01$ ) como percepción subjetiva de fatiga ( $z = -2.69$ ,  $p = 0.01$ ).

### Discusión

Esta investigación ha analizado los indicadores biomecánicos y psicofisiológicos que influyen en el rendimiento de una carrera de montaña vertical, observando las diferencias de rendimiento del uso de bastones y las asociaciones entre variables biomecánicas de salto (potencia) y variables psicofisiológicas (lactato, frecuencia cardíaca y percepción subjetiva de fatiga) con el rendimiento. Los resultados tienen en cuenta un tamaño de muestra limitada por su unicidad.

Tabla 1. Correlaciones significativas entre las variables de rendimiento, variables biomecánicas, variables psicofisiológicas, edad y peso.

Variable 1	Variable 2	rho	p
R	FCM	0.76	0.02*
Tt	FCP	-0.76	0.02*
Tt	FCM	-0.88	0.002**
Tt	L2	0.77	0.02*
Vmed	FCP	0.67	0.04*
Vmed	FCM	0.77	0.02*
Vmáx	Edad	-0.76	0.02*
PCMJ	Peso	-0.77	0.02*
PABK	Peso	-0.75	0.02*
CMJ (Tv, Av y V)	FC2	-0.68	0.04*
ABK (Tv, Av y V)	PSF2	-0.69	0.04*
PrABK	PSF2	-0.73	0.02*
Iub	PSF2	-0.87	0.002**
L1	FC1	0.85	0.004**
L2	FCP	-0.68	0.04*
L2	FCM	-0.75	0.02*

Legenda: R = Rendimiento (porcentaje de tiempo respecto el primer clasificado); Tt = Tiempo total; Vmed = Velocidad media; Vmáx = Velocidad máxima; CMJ = Contramovement Jump (previo); ABK = Abalakov (previo); Tv = Tiempo vuelo (salto); Av = Altura vuelo (salto); V = Velocidad de despegue (salto); P = Potencia de salto; Pr = Potencia de salto relativa al peso; Iub = Índice de utilización de brazos; FCP = Frecuencia cardíaca media; FCM = Frecuencia cardíaca máxima; FC1 = Frecuencia cardíaca previa; FC2 = Frecuencia cardíaca posterior; L1 = Lactato previo; L2 = Lactato posterior; PSF2 = Percepción subjetiva al esfuerzo posterior. Nivel de significación a “\*\* $p < 0.01$ ” y “\* $p < 0.05$ ”.

El hallazgo más destacable es que R y Vmed aumentan cuando se muestran mayores valores de FCP y FCM durante la competición ( $p \leq 0.02$ ), mostrando elevadas intensidades en términos absolutos. Se observa una menor acumulación de lactato en aquellos que realizaron menor tiempo ( $p \leq 0.02$ ), lo que podría interpretarse como una mayor eficiencia fisiológica que permite retardar la acidosis metabólica (Ghosh, 2004). No se muestran asociaciones de la potencia de salto relativa con el rendimiento de subida en esta vertical, a pesar de que la literatura científica afirma que en carreras de resistencia determinados entrenamientos de fuerza producen mejoras en la eficiencia y la velocidad de carrera, y también del VO<sub>2</sub>max (Beattie, Carson, Lyons, Rossiter, & Kenny, 2016; Paavolainen et al., 1999; Spurrs, Murphy, & Watsford, 2003). No obstante e interpretando posteriormente, sí se observan relaciones de las manifestaciones de fuerza con determinadas variables psicofisiológicas. En este estudio, cabe añadir que no se expresan relaciones con el rendimiento ni diferencias significativas entre el uso o no de bastones, aunque inicialmente se podría prever una posible influencia positiva de su uso (Daviaux & Hintzy, 2012; Howatson et al., 2011).

Si bien no se observan asociaciones significativas en el rendimiento con el uso de bastones, sí que se presentan mayores valores de ABK (Tv, Av, V y Pr) y también del Iub ( $p \leq 0.04$ ), como ayuda coordinativa de los brazos en el salto, a una menor PSF2 al final de una

carrera de montaña vertical, de tal forma podría ser indicador de las afirmaciones de Foissac et al. (2008) que el uso de bastones reduce la sensación de fatiga en la carrera a pie. El incremento de la potencia por efecto del uso de brazos, reflejado en la PABK (Fig. 1) y el Iub ( $15.05 \pm 8.89\%$ ), refuerza la posible relevancia de la coordinación del tren superior en la potencia, ya sea mediante el braceo a la hora de correr, con las manos en las rodillas andando o especialmente con el uso de bastones que producen mejores valores de fuerza contra el suelo en pendientes verticales (Komi, 1987).

Las manifestaciones de potencia de estos corredores, aún no estudiadas durante el transcurso de carrera, muestran una potencia relativa con diferencias mínimas entre los diferentes test de salto (Fig. 1). Los valores de esta muestra (PrCMJ =  $23.10 \pm 0.01$  W/kg; PrABK =  $23.12 \pm 0.02$  W/kg) se encuentran por debajo de la potencia relativa media en sujetos masculinos de alto nivel que practican disciplinas con similitud deportiva como el atletismo (PrCMJ =  $39.45 \pm 9.15$  W/kg; PrABK =  $46.34 \pm 11.02$  W/kg) o la orientación (PrCMJ =  $44.20 \pm 3.56$  W/kg; PrABK =  $52.58 \pm 5.34$  W/kg) (Garrido, González, Expósito, Sirvent, & García, 2012). Estos resultados podrían deberse a adaptaciones sistémicas por la gran predominancia de tramos andados y bajas velocidades en las subidas (Fig. 1), mostrando la relevancia de alternar correr y andar en carreras verticales, especialmente en pendientes superiores al  $15.8^\circ$  donde se demuestra una mayor eficiencia andando

(Giovannelli, Ortiz, Henninger, & Kram, 2015). En este contexto el constante cambio mecánico, técnico y de velocidad de carrera, interesantes de añadir en futuros estudios, está afectado por la pendiente (Balducci, Cléménçon, Morel, Quiniou, Saboul, & Hautier, 2016), y consecuentemente constriñe a las manifestaciones de potencia de los corredores.

Aparte del entorno de carrera, las propias características de los sujetos afectan también a las manifestaciones de potencia de salto absolutas de los corredores como es caso del peso, tanto en CMJ ( $rho = -0.77$ ,  $p = 0.02$ ) como en el test de ABK ( $rho = -0.75$ ,  $p = 0.02$ ), a pesar de que esta variable no se asocie directamente a un mayor rendimiento. Es relevante, por lo tanto, la potencia producida con el tren inferior y se interpreta una posible afectación negativa en la carrera a pie, debido a que se trata de un deporte en el que la fuerza realizada es para desplazar el peso corporal del corredor. Aparte del peso, la edad destaca por su asociación con la Vmax ( $rho = -0.76$ ,  $p = 0.02$ ), lo que permitiría relacionar las diferentes adaptaciones sistémicas adyacentes a la edad y las consecuentes estrategias en la velocidad en carrera (Nikolaidis & Knechtle, 2017).

Las características de la modalidad vertical son muy específicas en este caso. Una prueba *per se* de altitud cambiante, de corta duración (menos de una hora) y de elevada intensidad en la mayoría de la muestra, atendiendo al elevado porcentaje de FCP/FCM ( $95.26 \pm 1.88\%$ ) y una alta PSF2 ( $8.67 \pm 0.71$ ) posterior a la prueba (Fig. 1). Además, se observan unos valores de lactato elevados tanto antes como justo al finalizar la prueba ( $2.87 \pm 1.18$  mmol/l de L1 y  $12.41 \pm 3.28$  mmol/l de L2 con diferencias significativas de  $p = 0.01$ ) en comparativa con una prueba en llano de 10 km (Lima-Silva et al., 2010). Aunque la extracción de lactato en el dedo tiende a presentar niveles más altos que en la oreja (Sánchez et al., 2011), estos valores elevados responden a una tarea realizada a elevada intensidad. Los valores de lactato muestran una clara

correlación (Tabla 1) con la frecuencia cardíaca, tanto antes (entre L1 y FC1) como posteriormente (L2 con FCP y FCM) a la prueba, y por lo tanto, una relación positiva entre vías aeróbicas y anaeróbicas (Tabla 1). La variable de frecuencia cardíaca podría interpretarse también como indicadora de la recuperación al ejercicio durante este determinado estudio, ya que aquellos corredores con mayor fuerza explosiva y elástica (expresada en el test CMJ) presentan relación con una FC2 menor ( $rho = -0.68$ ,  $p = 0.04$ ), pudiendo entrever una mejor recuperación fisiológica o simplemente por finalizar la carrera a valores más bajos de FC.

## Conclusiones

El rendimiento, como tiempo total y relación del tiempo con el primer clasificado, en esta muestra específica durante una carrera de montaña vertical se asocia a una mayor respuesta fisiológica en términos de frecuencia cardíaca y a la vez una menor respuesta anaeróbica láctica. Dando respuesta a las hipótesis inicialmente planteadas se concluye que no se han observado diferencias significativas de rendimiento en esta prueba con el uso o no de bastones ni tampoco con una mayor potencia relativa de salto. No obstante, una mayor potencia relativa del test ABK podría ser indicadora de una menor percepción subjetiva del esfuerzo y una mayor utilización de los brazos; los corredores de esta modalidad deberían considerar la utilización de los brazos y también el uso de los bastones por sus beneficios a diferentes niveles (muscular y psicológico).

## Conflictos de interés

Los autores no presentan ningún conflicto de intereses que declarar. No se han recibido fondos de ningún tipo para la realización de esta investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga, R., Dorado, C., & Calbet, J. A. (2000). Reliability of jumping performance in active men and women under different stretch loading conditions. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(1), 26.
- Baiget, E., Peña, J., Borràs, X., Caparrós, T., López, J., Marin, F., ... Co-merma, E. (2016). Effects of a trail mountain race on neuromuscular performance and hydration status in trained runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(1-2), 43-49. doi:10.23736/S0022-4707.16.06792-X
- Balducci, P., Cléménçon, M., Morel, B., Quiniou, G., Saboul, D., & Hautier, C. A. (2016). Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15(2), 239-246.
- Balducci, P., Cléménçon, M., Trama, R., Blache, Y., & Hautier, C. A. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *International Journal of Sports Medicine*, 38(11), 819-826. doi:10.1055/s-0043-112342
- Balsalobre-Fernández, C., Tejero-González, C. M., del Campo-Vecino, J., & Bavaresco, N. (2014). The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 528-533. doi:10.1519/JSC.0b013e318299a52e
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., Rossiter, A., & Kenny, I. C. (2016). The Effect of Strength Training on Performance Indicators in Distance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 44(6), 1-35. doi:10.1519/JSC.0000000000001464

- Bernstein, G. A., & Garfinkel, B. D. (1992). The Visual Analogue Scale for Anxiety-Revised: Psychometric Properties. *Journal of Anxiety Disorders*, 6(3), 223–239. doi:10.1016/0887-6185(92)90035-6
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50(2), 273–282. doi:10.1007/BF00422166
- Buchfuhrer, M., Hansen, J., Robinson, T., Sue, D., Wasserman, K., & Whipp, B. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 55(5), 1558–1564.
- Cai, Z. Y., Hsu, C. C., Su, C. P., Lin, C. F., Lin, Y. A., Lin, C. L., ... Hsu, M. C. (2010). Comparison of lower limb muscle activation during downhill, level and uphill running. *Isokinetics and Exercise Science*, 18(3), 163–168. doi:10.3233/IES-2010-0379
- Daviaux, Y., & Hintzy, F. (2012). Effect of using poles on foot-ground kinetics during stance phase in trail running. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 468–474. doi:10.1080/17461391.2012.740505
- Degache, F., Guex, K., Fourchet, F., Morin, J. B., Millet, G. Y., Tomazin, K., & Millet, G. P. (2013). Changes in running mechanics and spring-mass behaviour induced by a 5-hour hilly running bout. *Journal of Sports Sciences*, 31(3), 299–304. doi:10.1080/02640414.2012.729136
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports*, 114, 338–344.
- Foissac, M., Berthollet, R., Seux, J., Belli, A., & Millet, G. (2008). Effects of hiking pole inertia on energy and muscular costs during uphill walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1117–1125. doi:10.1249/MSS.0b013e318167228a
- Gamberale, F. (1972). Perceived exertion, heart rate, oxygen uptake and blood lactate in different work operations. *Ergonomics*, 15(5), 545–554. doi:10.1080/00140137208924456
- García-Manso, J. M., Arriaza-Ardiles, E., Valverde, T., Moya-Vergara, F., & Mardones-Tare, C. (2017). Efectos de un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia sobre carreras de media distancia. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 36(12), 221–227. doi:10.12800/ccd.v12i36.947
- Garrido, R., González, M., Expósito, I., Sirvent, J., & García, M. (2012). Valores del Test de Bosco en Función del Deporte. *PubliCE Standard*. Retrieved from <http://g-se.com/es/evaluacion-deportiva/articulos/valores-del-test-de-bosco-en-funcion-del-deporte-500>
- Ghosh, A. K. (2004). Anaerobic Threshold: Its Concept and Role in Endurance Sport. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, 11(1), 24–36.
- Giovanelli, N., Ortiz, A. L., Henninger, K., & Kram, R. (2015). Energetics of vertical kilometer foot races, is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology*, 120, 370–375. doi:10.1152/jappphysiol.00546.2015
- Goodwin, M. L., Harris, J. E., Hernández, A., & Gladden, L. B. (2007). Blood Lactate Measurements and Analysis during Exercise: A Guide for Clinicians. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 1(4), 558–569. doi:10.1177/193229680700100414
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., ... Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 42–52. doi:10.1007/s00421-002-0751-9
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M., & Kraemer, W. J. (1991). Estimation of Human Power Output from Vertical Jump. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 5(3), 116–120. Retrieved from [http://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/1991/08000/Estimation\\_of\\_Human\\_Power\\_Output\\_from\\_Vertical.2.aspx](http://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/1991/08000/Estimation_of_Human_Power_Output_from_Vertical.2.aspx)
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improve aerobic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(5), 288–295. doi: 10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x
- Hoffman, M. D., Ong, J. C., & Wang, G. (2010). Historical analysis of participation in 161km ultramarathons in North America. *International Journal of the History of Sport*, 27(11), 1877–1891. doi:10.1080/09523367.2010.494385
- Howatson, G., Hough, P., Pattison, J., Hill, J. A., Blagrove, R., Glaister, M., & Thompson, K. G. (2011). Trekking poles reduce exercise-induced muscle injury during mountain walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 140–145. doi:10.1249/MSS.0b013e3181e4b649
- International Skyrunning Federation rules (2018). Tomado el 03/05/2018 de <http://www.skyrunning.com/rules/>
- Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise during sports activities: Practical Application. *Sports Medicine*, 5, 303–312. doi:10.2165/00007256-198805050-00002
- Komi, P. (1987). Force Measurements During Cross-Country Skiing. *International Journal of Sports Biomechanics*, 3(4), 370–381. Retrieved from <http://journals.humankinetics.com/AcuCustom/Sitename/Documents/DocumentItem/10709.pdf>
- Lima-Silva, A. E., Bertuzzi, R. C. M., Pires, F. O., Barros, R. V., Gagliardi, J. F., Hammond, J., ... Bishop, D. J. (2010). Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. *European Journal of Applied Physiology*, 108(5), 1045–1053. doi:10.1007/s00421-009-1300-6
- MacDougall, J. (1977). The anaerobic threshold: its significance for the endurance athlete. *Canadian Journal of Applied Sports Science*, 2, 40–137.
- Minetti, A., Ardigo, L., & Saibene, F. (1994). The transition between walking and running in humans: metabolic and mechanical aspects at different gradients. *Acta Physiologica Scandinavica*, 150(3), 315–323. doi:10.1111/j.1748-1716.1994.tb09692.x
- Mujika, I. (2006). Métodos de cuantificación de las cargas de entrenamiento y competición. *Kronos: Revista Universitaria de La Actividad Física Y El Deporte*, 10, 45–54.
- Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2017). Effect of age and performance on pacing of marathon runners. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 8, 171–180. doi:10.2147/OAJSM.S141649
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of Applied Physiology*, 86(5), 1527–1533. Retrieved from <http://jap.physiology.org/content/86/5/1527>
- Padulo, J., Powell, D., Milia, R., & Ardigo, L. P. (2013). A Paradigm of Uphill Running. *PLoS ONE*, 8(7), 1–8. doi:10.1371/journal.pone.0069006
- Sánchez, C., Ruiz, Y., & Martín, M. C. (2011). Influencia del lugar de extracción en la determinación de los niveles de lactato durante una prueba de esfuerzo incremental. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 4(3), 91–95.
- Santos, J., Granados, C., Bidaurrezaga, I., Zabala-Lili, J., Irazusta, J., & Gil, S. M. (2013). Comienzo de la acumulación de lactato sanguíneo como predictor del rendimiento en atletas de élite. *Retos: Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte Y Recreación*, 2041(23), 67–69.
- Sehovic, E., Knechtle, B., Rüst, C. A., & Rosemann, T. (2013). 12-hour ultra-marathons - Increasing worldwide participation and dominance of Europeans. *Journal of Human Sport and Exercise*, 8(4), 932–953. doi:10.4100/jhse.2013.84.05
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 1–7. doi:10.1007/s00421-002-0741-y
- Turner, A., Owings, M., & Schwane, J. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 60–67. doi:10.1519/1533-4287(2003)017<0060:IIREAW>2.0.CO;2
- Valdecabres, R., Trigueros, A. B., Casal, C. A., & Pablos, C. (2017). Diseño y validación de una herramienta observacional para el bádminton (BOT). *Revista Internacional de Medicina Y Ciencias de La Actividad Física Y El Deporte*. doi:10.15366/rimcafd2019.74.003
- Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Weltman, J., Rutt, R., ... Rogol, A. (1990). Percentages of Maximal Heart Rate, Heart Rate Reserve and VO2max for Determining Endurance Training Intensity in Male Runners. *International Journal of Sports Medicine*, 11(3), 218–222. doi:10.1055/s-2007-1024795
- Westerblad, H., Allen, D., & Lännergren, J. (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News in Physiological Science*, 17, 17–21. doi: 10.1152/physiologyonline.2002.17.1.17