

FACTORE

1ª parte

D

EN



Existen tres factores principales que determinan el rendimiento: la máxima potencia sostenida, el coste energético de correr y de caminar y factores motivacionales y psicológicos.

S FISIOLOGICOS E RENDIMIENTO TRAIL RUNNING

La Asociación Internacional de Trail Running (ITRA) define el *trail running* como la carrera a pie llevada a cabo en un entorno natural (montaña, bosque, llanuras, etc.) con una presencia mínima de terreno pavimentado o asfaltado. En consecuencia, los factores que determinan el rendimiento en carreras de ruta pueden diferir de los que lo hacen en el *trail running*, siendo de especial relevancia conocer qué condicionantes fisiológicos determinan en mayor medida el rendimiento en este tipo de pruebas.

Arcadi Margarit *Lcdo. en CC. de la Actividad Física y el Deporte. Docente en International Endurance Group. Docente en Curso Experto Universitario Trail Running UDIMA – www.amtraining.es*

A Cuestionando el modelo tradicional

Existen diversas variables que influyen en el rendimiento del corredor (Ogueta-Alday, Morante, Gómez-Molina y García-López, 2018), por lo que se sabe que el ejercicio de resistencia está determinado y/o limitado por un gran abanico de éstos (fisiológicos, psicológicos, biomecánicos, etc.). En todo caso, a nivel fisiológico parece haber cierto consenso entre aquellos factores fundamentales que pueden determinar o limitar el rendimiento en los corredores de resistencia.

Modelo clásico

Desde un punto de vista fisiológico, tres son los pilares en los que se asienta el rendimiento del corredor de resistencia: 1) la potencia aeróbica máxima o consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}); 2) el umbral «anaeróbico» o la capacidad de sostener una fracción dada del VO_{2max} durante un tiempo prolongado; y 3) la economía de movimiento o coste energético (Esteve-Lanao, 2007; Lucia et al., 2006; Maldonado-Martín, 2007). Con ello, los tres

pilares de rendimiento nombrados guiarían el trabajo de la resistencia del corredor, ya que su mayor o menor desarrollo darían lugar a un nivel determinado de resistencia (Esteve-Lanao, 2010). Es decir, que tener muy desarrolladas estas tres variables provocarían un alto rendimiento en carreras de resistencia, puesto que se ha hallado una alta correlación con el rendimiento en las pruebas de larga distancia (Maldonado-Martín, 2007) así como también de ultradistancia (Giovanelli, Taboga, Rejc y Lazzer, 2017).

No obstante, cada entrenador debe tener en cuenta el peso de cada uno de estos factores en el deporte y prueba a preparar, así como las demandas fisiológicas de cada prueba de manera específica. Por ello, el peso de cada uno de ellos vendrá condicionado por el tipo, condiciones, intensidad y duración de la competición. No será lo mismo preparar una prueba en llano que con cuestas; una prueba en la que luchamos contra el cronómetro únicamente (marca personal) que otra prueba más táctica en la que debe-

mos tener en cuenta en mayor medida a los demás corredores. Además, puesto que en la mayoría de estudios sobre factores fisiológicos y rendimiento se ha investigado con corredores de fondo y disciplinas del atletismo, dicho modelo más «clásico» predictor del rendimiento de resistencia se ha cuestionado para el *trail* (Ehrström et al., 2018), lo que añadiría otras variables de rendimiento además de lo ya comentado. Así, parece que claramente hay que atender a la propia especificidad y lógica interna del *trail running*, tanto para predecir como para mejorar los factores que más pueden condicionar el resultado en competición.

Especificidad en el *trail running*

Visto lo anterior, tenemos claro que, además de desarrollar los tres pilares de rendimiento a nivel fisiológico para mejorar el rendimiento en los corredores de montaña, algunos otros factores pueden jugar un rol importante en dicho rendimiento. Así, atendiendo además a que estas pruebas suelen ser realizadas en terrenos de montaña donde se incluyen pendientes

positivas y negativas con secciones técnicas de sendas, caminos y con rocas (Ehrström et al., 2018), contenidos como la carrera ascendente, descendente y en desnivel neutro serían especialmente relevantes en el entrenamiento. En relación a ello, se ha encontrado una fuerte correlación entre la economía de carrera cuesta arriba, cuesta abajo y en llano (Breiner et al., 2018), lo que sugiere que una mejora de la economía de carrera en llano podría ser sinónimo de una mejora de la economía de carrera cuesta abajo y cuesta arriba, lo que podría resaltar la importancia, entre otras cosas, del volumen de entrenamiento en llano del corredor de *trail*. No obstante, a pesar de ello, se ha sugerido que correr cuesta arriba, cuesta abajo y en llano podrían entenderse biomecánicamente como diferentes modos de ejercicio (Breiner et al., 2018), diferenciándose más a medida que aumenta (o disminuye) la pendiente. Por ejemplo, se ha visto que tanto en pendiente positiva (9°) como negativa (-9°) la potencia muscular aumenta, debido al peor aprovechamiento de la energía elástica y por el incremento de las fuerzas propulsivas en el primer caso, y por la mayor fuerza de frenado en el segundo caso (Dewolf, Peñailillo y Willems, 2016). En consecuencia, la presencia de subidas y bajadas modificaría el tipo de contracción a nivel muscular respecto a correr en llano, así que un entrenamiento específico sería necesario. Por ello, se ha resaltado la importancia del entrenamiento en pendiente para el corredor de *trail*, considerándose un factor específico y diferenciador respecto al corredor de ruta. De hecho, para la evaluación del corredor de montaña, se han propuesto diferentes protocolos de valoración fisiológica, estableciéndose como más apropiada la determinación del rendimiento en subida que en llano. Así, se han visto diferencias significativas intrasujeto entre protocolos en llano y en subida en variables como el VO_2 máx (Scheer, Ramme, Reinsberger y Heitkamp, 2018; Vanhoy, 2012), lo que podría hacer pensar que, por ejemplo, una evaluación en subida sería más específica para el corredor de *trail*.

Factores fisiológicos de rendimiento en el trail running

Especialmente en los últimos años, se han intentado averiguar los factores fisiológicos que determinan, condicionan y/o limitan el rendimiento en pruebas de *trail*. Por ejemplo, en un estudio en el que se analizaron las variables más determinantes en un *trail* corto o XS (27km y 1.400+) (Ehrström et al., 2018), se determinó que los factores más correlacionados con el rendimiento eran el índice



También cobran relevancia factores neuromusculares (especialmente la fuerza en miembros inferiores), la prevención del daño muscular y la resistencia a la fatiga.

de fatiga (pérdida de fuerza entre las cinco primeras y últimas repeticiones de extensiones de rodilla de un total de 40) y el VO_2 máx, así como la economía de carrera en subida (pendiente del 10%). También se asoció con el rendimiento la resistencia a la fatiga en pendiente de subida y la VAM (velocidad aeróbica máxima) de los sujetos. Sin embargo, hubo una baja correlación del rendimiento con el % VO_2 máx al umbral de lactato (AT) y la economía de carrera en llano (corriendo cerca del 80% del VO_2 máx). En todo caso, se determinó que «sólo» un 48% del rendimiento podía explicarse a través del modelo clásico (con los tres pilares de rendimiento) pero que, añadiendo la economía de carrera en subida y la fatiga local, se podía explicar hasta el 98% del rendimiento. De esta manera, se pone en evidencia la importancia de parámetros como la VAM y el VO_2 máx así

como otros como la resistencia a nivel local (extensores de rodilla) en *trails* «cortos», siendo muy interesante esto último puesto que los cambios biomecánicos asociados a la fatiga en el *trail* son específicos (Millet y Borrani, 2017) debido a la propia lógica de las carreras de *trail* especialmente por las subidas y bajadas.

Por otra parte, en un estudio (Fornasiero et al., 2018) se intentó predecir el rendimiento en una carrera de 65km y 4.000m de desnivel en corredores aficionados experimentados. Así, se determinó por un lado que la potencia máxima (similar a la VAM pero en subida) y el VO_2 máx eran las variables de laboratorio que en mayor medida correlacionaban con el rendimiento en la prueba. Contrariamente, los umbrales ventilatorios no se asociaron como factores de predicción de rendimiento,



Foto: SkyMarathon Jordi Canyameres.

ultramaratón son cruciales las estrategias de entrenamiento para minimizar el coste energético, el daño de los tejidos de los miembros inferiores, la fatiga muscular y los síntomas asociados con las carreras de duración prolongada que pueden incrementar el coste energético.

En resumen de este apartado, parece que los tres pilares fisiológicos de rendimiento por los cuales se explica en mayor medida el rendimiento en carreras de ruta tendrían también su importancia en *trail*. No obstante, y aunque puede variar según el tipo de carrera y la distancia, de manera general en carreras de *trail* cobrarían también relevancia factores neuromusculares (especialmente la fuerza en miembros inferiores y sobre todo en extensores de la rodilla), la prevención del daño muscular (relacionado con lo anterior) y la resistencia a la fatiga (o índice de resistencia), la propia VAM o potencia máxima en subida, y el coste energético de caminar y de carrera en pendiente.

Factores neuromusculares

Las carreras de fondo son consideradas una modalidad deportiva con necesidades bajas de fuerza (González-Badillo et al., 2017). No obstante, debido a la idoneidad de altos valores de fuerza y potencia de miembros inferiores (Lazzer et al., 2015) y la necesidad de ser resistentes a la fatiga muscular en las carreras de montaña (Giandolini et al., 2016), podemos entender que las carreras de *trail* serían pruebas con mayores necesidades, sobre todo en función del tipo (p. ejem. kilómetro vertical), de la distancia y del desnivel. De cualquier modo, y de manera general, un buen entrenamiento de fuerza puede reducir a menos de la mitad el número de lesiones por sobreesfuerzo y a menos de una tercera parte del número de lesiones totales (Lauersen, Bertelsen y Andersen, 2014). Ello cobra importancia además porque la probabilidad de éxito en el rendimiento deportivo está influenciado directamente por la cantidad de entrenamientos del programa que realiza el deportista, o sea, que no se pierde por lesión o enfermedad (Drew y Finch, 2016).

De manera más específica, el entrenamiento de la fuerza mejora de una manera directa el rendimiento en corredores de resistencia a partir, especialmente, de una mejora en la economía de carrera tanto en corredores de ruta (Paavolainen et al., 1999) como en corredores de *trail* (Giovannelli, Taboga, Rejc y Lazzer, 2017). Estos beneficios fun-

aunque al primer umbral ventilatorio (VT1) se le otorgó importancia a la hora de optimizar el *pacing* de la competición. Además, puesto que se concluyó que únicamente el 59% del rendimiento en la competición se explicaba a partir de variables de laboratorio, se da a entender la variedad de factores que influyen en el rendimiento de *trail* .

En otro estudio (Lazzer et al., 2015) se analizó el rendimiento en una prueba de *trail* de 43km y 3.063m de ascenso. Así, el ritmo medio de carrera fue directamente proporcional a los valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ y de fuerza de los sujetos, e inversamente proporcional al coste energético. Con ello, se estableció que los corredores más económicos, con mayor $VO_{2m\acute{a}x}$ y con mayores niveles de fuerza son los que obtuvieron un mayor rendimiento en este tipo de carreras.

En otra investigación (Balducci, Cléménçon, Trama, Blache y Hautier, 2017) se evaluó la relación entre el rendimiento en una ultramaratón (75k, 3.900+ y 3.700-) y diferentes variables de rendimiento. En este caso, se mostró que la velocidad aeróbica máxima, el porcentaje de la VAM que un corredor es capaz de sostener y la fuerza de los extensores de rodilla eran las variables que en mayor medida explicaban el rendimiento en esta carrera.

De igual manera, algunos autores (Millet, Hoffman y Morin, 2012) han propuesto que en ultramaratones existen tres factores que de manera principal determinan el rendimiento: la máxima potencia sostenida, el coste energético de correr y de caminar y factores motivacionales y psicológicos. Así, de acuerdo con los propios autores, en

Trail running

damentalmente se han visto después de un periodo de entrenamiento de fuerza con altas cargas y/o de «fuerza explosiva» o RFD (*rate of force development*) (Berryman et al., 2018; Rønnestad y Mujika, 2014) y pliometría (Balsalobre-Fernández, Santos-Concejero y Grivas, 2016) así como por ejemplo también después de un entrenamiento de cuestas (Barnes, Hopkins, McGuigan y Kilding, 2013). Adicionalmente, el entrenamiento de fuerza nos ayudaría, entre otros beneficios, al retraso de la aparición de fatiga y mayor tolerancia a ésta (Rønnestad y Mujika, 2014), al mantenimiento del ritmo y de la potencia generada en carrera (Damasceno et al., 2015) y al mantenimiento de la longitud de zancada (Merayo, 2011). En este sentido, en un estudio (Best y Braun, 2017) en el que se recogieron datos de 111 corredores varones de buen nivel regional de entre 21 y 49 años desde la plataforma Strava, se analizaron datos de carreras de montaña similares en duración a una maratón y a una media maratón de asfalto. Se vio que las carreras de montaña (de ascenso) se caracterizaban por un mantenimiento o un descenso de la frecuencia cardíaca (FC) en la segunda parte del evento respecto a la primera, mientras que en las carreras de ruta de similar duración había un aumento de la FC. Con ello, se sugirió que, a pesar de que dichas diferencias podían ser explicadas por la altitud, las demandas concretas de correr en pendiente ascendente y los factores biomecánicos y de reclutamiento muscular podían hacer disminuir el trabajo a nivel oxidativo y con ello el rendimiento, con lo que el papel de la fuerza en estos casos sería fundamental.

Por otra parte, en un estudio (Giovanelli et al., 2017) se analizaron variables biomecánicas y el coste energético después de un programa de tres sesiones semanales durante 12 semanas en corredores de montaña, siendo este programa muy práctico para que el atleta tuviese adherencia y poderlo realizar en casa. De este modo, se vio una mejora en la economía de carrera, que fueron explicadas por factores como la rigidez muscular y el retorno de la energía elástica. Paradójicamente, después de la intervención, el tiempo de contacto aumentó y el tiempo de vuelo decreció en las velocidades más bajas (8, 10 y 12km/h) sin apenas cambios en velocidades más altas (14km/h). En todo caso, hubo una mejora del 4% en la economía de carrera, lo que según el propio autor podría traducirse en más de 15-20 minutos de mejora en un *ultra*trail.



Foto: Prensa Transvulcania.

En definitiva, entendemos que limitaciones a nivel de fuerza y de resistencia muscular podrían mermar el rendimiento en el *trail*. De esta manera, con el entrenamiento de fuerza buscamos dos objetivos en el *trail running*: 1) ser más eficientes y 2) retrasar la fatiga (y atenuar el daño muscular). Por tanto, entendemos que la fuerza en el corredor de montaña va a ser un factor limitante y a su vez determinante del rendimiento.

Coste energético

La economía de movimiento o coste energético se define como la energía necesaria por encima de la de reposo para transportar el cuerpo del sujeto sobre una unidad de distancia (Maldonado-Martín, 2007). O sea, que es la cantidad de VO_2 necesario para recorrer una determinada distancia a una deter-

minada velocidad. Cuanto más bajo sea el VO_2 para una velocidad o potencia determinada, mejor será la economía de movimiento. Sin embargo, parece ser necesario conocer los valores de la ratio de intercambio respiratorio (RER), puesto que sería la forma adecuada de poder establecer el coste energético real y poder comparar así lo eficiente que es un corredor (Vernillo et al., 2016). En cualquier caso, el corredor de resistencia, para llegar a ser excelente, además de caracterizarse por un alto $VO_{2\text{máx}}$ y alta capacidad de mantener un porcentaje dado del $VO_{2\text{máx}}$, debe tener un bajo coste energético en las velocidades submáximas de carrera (Maldonado, 2007) y, en el caso del corredor de montaña, un bajo coste energético tanto caminando como corriendo (Millet, Hoffman y Morin, 2012).



Limitaciones a nivel de fuerza y de resistencia muscular podrían mermar el rendimiento en el trail.

Coste energético de caminar

Puesto que la optimización del coste energético sería un factor fisiológico de entrenamiento en el *trail running*, éste lo sería en el gesto específico de competición. En consecuencia, caminar es un gesto específico en carreras de montaña, por lo que mejorar su eficiencia sería necesario tanto en carreras como kilómetros verticales (Giovannelli, Ortiz, Henninger y Kram, 2016) en ultramaratones (Millet, 2012) así como en distancias intermedias (Lazzer et al., 2015).

En este sentido, en un estudio de caso (Savoldelli et al., 2017) se analizó el gasto energético durante un *ultratrail*, del cual extraemos dos ideas principales: 1) la ne-

cesidad de controlar el *pacing* y «regular» el gasto de energía (el corredor estudiado mantuvo la eficiencia hasta el final de la prueba) y 2) de la necesidad de acumular desnivel en el entrenamiento y de entrenar las pendientes ascendentes caminando en este tipo de pruebas. Por tanto, optimizar el coste energético cuesta arriba o «uphill», ya sea caminando o corriendo, será necesario para mejorar el rendimiento.

En la segunda parte de este artículo (próximo número de *Sporttraining*) proseguiremos con los factores fisiológicos de rendimiento en *trail* así como con estrategias para su optimización. ■ ■ ■ ■ ■ ■

BIBLIOGRAFÍA

- BALDUCCI, P., CLÉMENTON, M., TRAMA, R., BLACHE, Y., y HAUTIER, C. (2017). Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *International Journal of Sports Medicine*, 38(11), 819-826. <https://doi.org/10.1055/s-0043-112342>
- EHRSTRÖM, S., TARTARUGA, M. P., EASTHOPE, C. S., BRISWALTER, J., MORIN, J. B., y VERCRUYSSSEN, F. (2018). Short Trail Running Race: Beyond the Classic Model for Endurance Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(3), 580-588. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001467>
- FORNASIERO, A., SAVOLDELLI, A., FRUET, D., BOCCIA, G., PELLEGRINI, B., y SCHENA, F. (2018). Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *Journal of Sports Sciences*, 36(11), 1287-1295. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1374707>
- GIANDOLINI, M., HORVAIS, N., ROSSI, J., MILLET, G. Y., MORIN, J. B., y SAMOZINO, P. (2016). Acute and delayed peripheral and central neuromuscular alterations induced by a short and intense downhill trail run: Fatigue after a downhill trail run. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(11), 1321-1333. <https://doi.org/10.1111/sms.12583>
- GIOVANELLI, N., TABOGA, P., REJC, E., y LAZZER, S. (2017). Effects of strength, explosive and plyometric training on energy cost of running in ultra-endurance athletes. *European Journal of Sport Science*, 17(7), 805-813. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1305454>
- LAZZER, S., SALVADEGO, D., TABOGA, P., REJC, E., GIOVANELLI, N., y DI PRAMPERO, P. E. (2015). Effects of the Etna Uphill Ultramarathon on Energy Cost and Mechanics of Running. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(2), 238-247. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0057>
- MILLET, G. Y., HOFFMAN, M. D., y MORIN, J. B. (2012). Sacrificing economy to improve running performance a reality in the ultramarathon? *Journal of Applied Physiology*, 113(3), 507-509. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00016.2012>
- SCHEER, V., RAMME, K., REINSBERGER, C., y HEITKAMP, H. C. (2018). VO_{2max} Testing in Trail Runners: Is There a Specific Exercise Test Protocol? *International Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1055/a-0577-4851>



**Entrenador de corredores
Especialidad en *trail running***

**¿EMPEZAMOS
A ENTRENAR?**

w w w . a m t r a i n i n g . e s

FACTORE

2ª parte

D

EN

Foto: TransGranmaratía.



LOS FISIOLÓGICOS E RENDIMIENTO TRAIL RUNNING

En la primera parte de este artículo vimos que los tres pilares fisiológicos de rendimiento por los cuales se explica en mayor medida el rendimiento en carreras de ruta, tendrían también su importancia en *trail*, pero sin embargo, la especificidad de las carreras de montaña añaden otros factores de especial relevancia. Así, vista ya la importancia de la fuerza y el coste energético de caminar, proseguimos con los demás determinantes del rendimiento.

Arcadi Margarit Lado. en CC. de la Actividad Física y el Deporte. Docente en International Endurance Group. Docente en Curso Experto Universitario Trail Running UDIMA – www.amtraining.es

Coste energético y rendimiento en carrera de subida

Analizamos el rendimiento en carrera «uphill», por un lado como la capacidad de poder ser económicos corriendo cuesta arriba y reducir así el coste energético y, por otro lado, como la capacidad de minimizar el tiempo de subida.

Se sabe que el coste energético de un modo de ejercicio (p. ejem. correr) no tiene por qué estar relacionado con el coste energético de otro modo de ejercicio (p. ejem. ciclismo). Así, puesto que se ha considerado que correr en «llano», «uphill» y «downhill» (y lógicamente también caminar) pueden ser tratados como diferentes modos de ejercicio, el entrenamiento para mejorar esta variable debería de ser específico. No obstante, podríamos decir que el entrenamiento en llano podría beneficiar la economía de carrera en pendiente, puesto que se ha encontrado una fuerte correlación entre ser «económico» en pendientes positivas (7,5%) y serlo en llano, así como también en pendientes negativas (-5%) (Breiner et al., 2018). En consonancia

con ello, se halló una alta correlación entre la economía de carrera en llano y *uphill* (12%) en corredores de *trail* de alto nivel (Willis et al., 2019), aunque no fue así en otro estudio entre una pendiente nula del 0% y una pendiente del 12,5% (Balducci et al., 2016). Concretamente, en esta última investigación (la muestra también de corredores de alto nivel), se halló una correlación escasa o nula entre la economía de carrera en llano respecto a pendientes positivas del 12,5 y del 25%; mientras que la economía entre estas dos pendientes ascendentes sí mostró co-

rrelación (de moderada a fuerte). Así, parece que la relación entre economía en llano y *uphill* no estaría del todo clara. Sin embargo, debido a que las diferencias entre correr en llano y *uphill* se acentúan a medida que aumenta la pendiente, fundamentalmente por la progresiva disipación de la energía elástica (Snyder et al., 2012), dicha relación podría ser mayor en pendientes más suaves y menor en pendientes más pronunciadas. De cualquier modo, no siempre un corredor eficiente en llano lo será en pendiente positiva, así que sería necesario entrenar de manera específica para mejorar el coste energético *uphill*, ya que ser eficiente corriendo cuesta arriba es una característica primordial del corredor de montaña de élite (Willis et al., 2019).

Por otra parte, se sabe que la biomecánica de carrera en subida difiere de correr en llano (Vernillo et al., 2017). Concretamente, hasta el 15% de pendiente positiva los músculos y tendones van ejerciendo un menor trabajo excéntrico y ninguno por encima de 15%, lo que implicaría un mayor coste energético (Minetti, Ardigo y Saibene, 1994). Es decir, a medida

A medida que la pendiente va siendo más pronunciada, la contribución de la energía elástica va disminuyendo.

Trail running

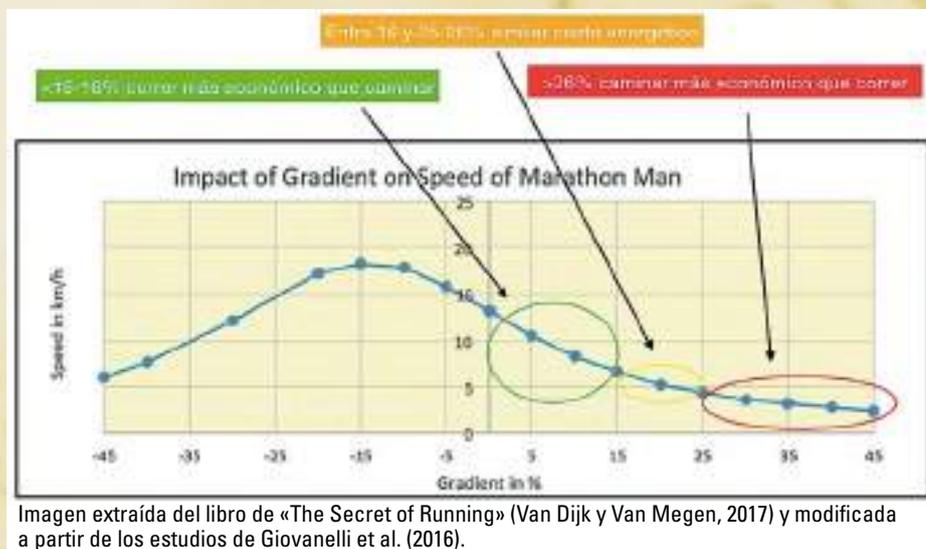
que la pendiente va siendo más pronunciada, la contribución de la energía elástica va disminuyendo y, como hemos visto, a partir de una pendiente de 9° (~15-16%) sólo existe «trabajo positivo», lo que quiere decir que prácticamente no hay «rebote» o fase excéntrica (frenado) en cada paso. Esta inexistencia de fase negativa da lugar repetidas veces a un desplazamiento con características «a medio camino» entre caminar y correr, una especie de «camina-corre», el cual es específico en el corredor de montaña.

En relación a ello, parece que la duda de si «caminar o correr» se vería influenciada por, entre otros factores, el porcentaje de pendiente. Así, se ha visto que a partir del ~15% de pendiente hasta el ~28% el coste energético de caminar y correr sería similar (Minetti et al., 1994), viéndose en otros estudios que correr en pendientes del 10° (17,6%) es más económico que caminar a una misma velocidad de subida (Giovannelli, Ortiz, Henninger y Kram, 2016). En todo caso, por encima del 27% caminar sería más eficiente (Giovannelli et al., 2016). Con estos datos, podríamos elegir si debemos caminar o correr con la finalidad de optimizar el coste energético.

No obstante, todo esto también dependería de la distancia, del objetivo y/o de la velocidad de la prueba. En un estudio (Ortiz, Giovannelli y Kram, 2017) se analizó el coste energético de correr y caminar a distintas velocidades verticales en una pendiente de 30° (57,7%). La elección de dicho grado de pendiente fue motivada por estar dentro del rango de inclinación más económica de caminar para una misma velocidad vertical y por estar muy cerca de la pendiente media de las

pruebas de kilómetro vertical en las que se obtienen los mejores tiempos y récords del mundo (~50-55%). Así, se halló que, de manera lógica, a mayor velocidad, mayor gasto metabólico tanto corriendo como caminando y que, paradójicamente, los corredores eran más económicos a velocidades más altas (a diferencia de correr en llano), sugiriendo que se requeriría menos energía ascendiendo más rápido que más lento. Ello podría ser interesante especialmente en ultradistancia, dado que a pesar de ser fundamental «ahorrar» energía, establecer un ritmo «demasiado lento» podría ser también perjudicial a nivel de coste energético. Además, y de manera muy interesante, se constató que a velocidades más lentas (0.3 a 0.7m/s o, a un ritmo en mm:ss/km de ~55:33/km a ~23:48/km) el gasto metabólico era menor caminando que corriendo (un 9,2% menor a 0,7m/s, por ejemplo); pero que, a velocidades más altas (0,8 y 0,9m/s o ~20:50/km y 18:31/km) —aunque a 0,9m/s sólo pudo mantener el ritmo el único corredor élite de la muestra—, correr podría ser más económico y ventajoso. Así, teniendo en cuenta que la velocidad del récord en kilómetro vertical para hombres se ha conseguido a una velocidad vertical de ~0,57m/s y a una velocidad carrera de ~1,08m/s o ~15:26/km y para mujeres 0,47m/s de velocidad vertical y a una velocidad de carrera de ~0,87m/s o 19:09/km, los autores extrajeron la conclusión de que para minimizar el coste energético en kilómetros verticales o en este tipo de pendientes, los corredores recreacionales deberían caminar y sólo los más rápidos deberían correr.

No obstante, ya que de manera general el *trail running* tiene unas mayores necesida-



des de fuerza y la probabilidad de fatiga a nivel local es mayor, sería interesante estudiar la actividad desde un punto de vista más «muscular» o «biomecánico» además de metabólico, para identificar la actividad relativa de cada grupo muscular durante caminar y correr (Ortiz et al., 2019). En todo caso, hay que tener en cuenta que todo ello se ha analizado en condiciones de laboratorio, por lo que algunos aspectos que deben ser tenidos en cuenta serían también la táctica de carrera, la irregularidad del terreno que incrementaría el coste energético tanto caminando (Gast et al., 2019) como corriendo (Björklund et al. 2019), la fatiga y la variabilidad en pendiente que pueda propiciar cambios entre caminar y correr, entre otros. De cualquier modo, en función de



la pendiente, la distancia de la prueba, el terreno, del nivel del corredor y del objetivo prioritario (minimizar coste energético o bien maximizar la velocidad de desplazamiento), habrá que evaluar si nos interesa más caminar o correr.

En relación con lo anterior, minimizar el coste energético es un objetivo que puede ser secundario, puesto que el objetivo de rendimiento final en una prueba es poder desplazarse (en este caso subir) en el menor tiempo posible y, para ello, una muy buena condición física es fundamental. De hecho, sabemos que correr cuesta arriba genera un mayor coste energético que correr en llano para transportar el centro de masas (Snyder et al., 2012), que es un modo de ejer-

Sería interesante estudiar la actividad desde un punto de vista más «muscular» o «biomecánico», además de metabólico, a la hora de comparar entre caminar y correr.

cicio que no requiere de un gran aprendizaje técnico o al menos que lo requiere en menor medida que, por ejemplo, correr en llano (Ortiz, Giovanelli y Kram, 2017) y, además, que hay una alta influencia del VO_2 máx en el rendimiento en subida (Björklund et al. 2019), indicando que la máxima potencia aeróbica es el mayor factor limitante para el rendimiento de carrera *uphill* (Townshend et al., 2010). Adicionalmente, de manera comparativa y sirva como ejemplo, mientras

que el tiempo de los récords del mundo de 10km en ruta y kilómetro vertical difieren en apenas unos pocos minutos tanto en hombres como mujeres, las diferencias entre los tiempos medios generales de 10km en ruta y un kilómetro vertical son mucho mayores. Además, debido a que durante una carrera de montaña se perdería más tiempo intrasujeto (el propio corredor) en subidas que en bajadas (Björklund et al., 2019), todo ello nos hace intuir la gran exigencia de la subida y



Otro factor que podría ayudar a la optimización del coste energético en el corredor de montaña sería el uso de bastones.

la necesidad de conseguir un buen «motor» y una excelente condición física para optimizar el rendimiento *uphill*.

Coste energético y rendimiento en carrera «downhill»

Los corredores con mayor rendimiento en bajada son los que generalmente tienen un mejor puesto en la clasificación, estableciéndose la habilidad de bajada como un buen predictor del rendimiento en *trail* (aunque no del tiempo de la prueba). En este sentido, en un análisis de los tiempos de un total de 9.000 competidores en 44 ediciones de siete carreras de montaña (Kay, 2014) se vio que: 1) era en las bajadas donde había mayores diferencias entre corredores, 2) estas diferencias eran mayores a mayor componente técnico y mayor porcentaje de las pendientes y 3) había un mayor rendimiento en hombres respecto a mujeres en las pendientes más irregulares y pronunciadas, pero que a su vez, a mayor edad había un mayor descenso del rendimiento de bajada en hombres que en mujeres. En cualquier caso, parece claro que un buen rendimiento en descenso es

fundamental para obtener un buen puesto en las carreras de montaña.

Por otra parte, sabemos que la carrera cuesta abajo produce en mayor medida contracciones excéntricas, lo que aumentaría la fatiga y el daño muscular especialmente a partir de -15% (Minetti et al., 1994) o -20% (Vernillo et al., 2017), donde aumenta exponencialmente el trabajo negativo (de frenado). En este sentido, parece claro que correr cuesta abajo produce un mayor estrés mecánico interno y un mayor daño muscular (Giandolini et al., 2016) siendo el coste energético mayor en pendientes más pronunciadas que -15% (p. ejem. -30%) y dando lugar a un menor coste energético respecto a llano en pendientes entre 0 y el -15%.

Así, dado que variables como el VO_2 máx tienen menor influencia en el rendimiento en carrera cuesta abajo (Björklund et al., 2019), parece que mientras que el rendimiento en subida dependa en mayor medida de nuestro «metabolismo», en la bajada el rendimiento no está relacionado puramente con

la capacidad metabólica, si no que podría estar más limitada por factores biomecánicos, por lo que se entiende que dicho rendimiento depende de muchos más factores (Kay, 2014). En todo caso, a nivel más fisiológico, otorgaríamos a la fuerza de los miembros inferiores un papel fundamental, puesto que tendría implicaciones especialmente a nivel de atenuación de la fatiga y a nivel de daño muscular.

Daño muscular en el *trail running*

En los últimos años se ha ido estudiando la importancia del daño muscular como predictor de fatiga fundamentalmente, aunque no exclusivamente, en pruebas de carrera a pie de larga distancia y especialmente en carreras de montaña. En la carrera a pie, la acción de «frenado» produce una gran tensión en la estructura interna del músculo causando pequeñas microrroturas musculares, lo que conlleva a una desestructuración funcional, menos fuerza aplicada, se instaura un proceso inflamatorio (dolor) y, finalmente, la fatiga muscular con descenso notable del rendimiento (López-Chicharro y Sánchez, 2014). Así

que ésta sucede cuando se producen daños en las propias fibras musculares (sarcolema, miofibrillas, citoesqueleto y túbulo T), que generalmente se han determinado a partir de la cantidad en sangre de proteínas intramusculares como la mioglobina, la creatina quinasa (CK) y el lactato deshidrogenasa (LDH), lo cual se ha estudiado tanto en maratón (Del Coso et al., 2013), en triatlón (Coso et al., 2012), así como en ultradistancia (Suárez et al., 2010). De manera resumida, se puede ver que aquellos corredores con mayor capacidad para atenuar la pérdida de intensidad de carrera son aquellos que presentan mayores niveles de fuerza al finalizar la prueba y valores más bajos de marcadores del daño muscular. Por ende, se sugiere que el daño muscular es un fenómeno que disminuye el rendimiento en pruebas de carrera a pie e influiría en el rendimiento de carreras de larga duración. Además, si pensamos en que la carrera cuesta abajo tiene un mayor impacto y produce un mayor daño a nivel muscular, es lógico deducir que el daño muscular se exacerbaría en pruebas de *trail* y que la atenuación de éste sería fundamental en el rendimiento de las carreras de montaña. Así, a mayor duración de la prueba y mayor presencia de descensos, aumentaría la probabilidad de producirse (Ehrström et al., 2018).

Además, aunque generalmente durante las subidas podría darse un menor daño muscular, éste se acentuaría en carreras en las que hay ascensos a alta intensidad junto a descensos, puesto que la carrera cuesta abajo daña de manera más severa el tejido muscular, lo que desencadena en una mayor pérdida de fuerza (Giandolini et al., 2017).

En este sentido, se ha visto un alto grado de daño muscular en carreras de *ultra-trail* (Ramos-Campo et al., 2016) y altas pérdidas de fuerza en carreras tanto de ultradistancia como más cortas, específicamente en flexores plantares y extensores de rodillas después de descensos en carrera (Giandolini et al., 2016). De hecho, en un reciente estudio (Giovannelli et al. 2019) se determinó que, después de carreras de 32km y 50km con 2.000m y 3.500m de desnivel respectivamente, se producía un desajuste o disfunción en el metabolismo oxidativo en el músculo vasto lateral, sugiriéndose como posible causa del daño muscular por las repetidas contrac-

ciones excéntricas reduciendo finalmente la capacidad y la tolerancia al ejercicio. Por ende, se entiende que debido a la fatiga por las severas alteraciones musculares causadas por las bajadas, la fuerza muscular y la resistencia a la fatiga serían factores de rendimiento fundamentales (Ehrström et al., 2018). Por ello, a pesar de que la fatiga por daño muscular ha mostrado tener una gran variabilidad interindividual (Del Coso et al., 2013; Quinn y Manley, 2012), le otorgamos un papel fundamental al entrenamiento de fuerza y al propio entrenamiento específico de carrera de montaña para la mejora del rendimiento en bajada. ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

BIBLIOGRAFÍA

- GIANDOLINI, M., HORVAIS, N., ROSSI, J., MILLET, G.Y., MORIN, J.B. y SAMOZINO, P. (2016). Acute and delayed peripheral and central neuromuscular alterations induced by a short and intense downhill trail run: Fatigue after a downhill trail run. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(11), 1321-1333. <https://doi.org/10.1111/sms.12583>.
- GIOVANELLI, N., ORTIZ, A.L.R., HENNINGER, K. y KRAM, R. (2016). Energetics of vertical kilometer foot races; is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 120(3), 370-375. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00546.2015>.
- GIOVANELLI, N., SULLI, M., KRAM, R. y LAZZER, S. (2019). Do poles save energy during steep uphill walking? *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1557-1563. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04145-2>.
- ORTIZ, A.L.R., GIOVANELLI, N. y KRAM, R. (2017). The metabolic costs of walking and running up a 30-degree incline: Implications for vertical kilometer foot races. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1869-1876. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3677-y>.
- RAMOS-CAMPO, D.J., ÁVILA-GANDÍA, V., ALACID, F., SOTO-MÉNDEZ, F., ALCARAZ, P.E., LÓPEZ-ROMÁN, F.J. y RUBIO-ARIAS, J. Á. (2016). Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquée, Nutrition Et Métabolisme*, 41(8), 872-878. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>.
- SNYDER, K.L., KRAM, R. y GOTTSCHALL, J.S. (2012). The role of elastic energy storage and recovery in downhill and uphill running. *Journal of Experimental Biology*, 215(13), 2283-2287. <https://doi.org/10.1242/jeb.066332>.
- VERNILLO, G., GIANDOLINI, M., EDWARDS, W.B., MORIN, J.B., SAMOZINO, P., HORVAIS, N. y MILLET, G.Y. (2017A). Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Medicine*, 47(4), 615-629. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0605-y>.
- WILLIS, S.J., GELLAERTS, J., MARIANI, B., BASSET, P., BORRANI, F. y MILLET, G.P. (2019). Level Versus Uphill Economy and Mechanical Responses in Elite Ultra-Trail Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-15. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0365>.



Entrenador de corredores
Especialidad en *trail* running

**¿EMPEZAMOS
A ENTRENAR?**

FACTORE

3ª parte

D

EN



S FISIOLOGICOS E RENDIMIENTO TRAIL RUNNING

Con esta tercera y última parte, cerramos el artículo dedicado a los factores de rendimiento fisiológicos en *trail running*, tras hablar de los factores neuromusculares, el coste energético, el coste energético de caminar, el coste energético en subida, el coste energético en bajada (*downhill*) y el daño muscular. Ahora, nos centraremos en el entrenamiento para la mejora del rendimiento del corredor de montaña.

Arcadi Margarit *Lcdo. en CC. de la Actividad Física y el Deporte. Docente en International Endurance Group. Docente en Curso Experto Universitario Trail Running UDIMA – www.amtraining.es*

En base a lo anterior, a continuación exponemos brevemente algunos contenidos de entrenamiento que pueden no estarlo o ser tratados de una manera diferente en el entrenamiento del corredor de ruta. De esta manera, entendemos que sería de gran importancia la mejora de patrones neuromusculares (atenuando el daño muscular y mejorando la economía), tener un alto «techo» fisiológico (con el VO_2 máx y la VAM tanto en llano como en subida e incluso el segundo umbral ventilatorio para ultradistancia) y ser corredores económicos (tanto en llano como en subida corriendo y caminando). Para ello, es tarea del entrenador buscar los métodos y medios más adecuados y efectivos.

Mejora de los patrones neuromusculares y entrenamiento para la atenuación del daño muscular

La propia lógica de competición del *trail runner* nos indica que las limitaciones a nivel de fatiga muscular pueden mermar el rendimiento. Por ello, se busca la mejor manera

de evitar este daño de la musculatura y en consecuencia el decremento del rendimiento (y prevenir lesiones, también). Por ejemplo, en corredores de ruta, se ha asociado una mejor economía de carrera en condiciones de fatiga a una mayor resistencia muscular de los flexores de rodilla, sugiriéndose que el aumento de la resistencia muscular y la fuerza de este grupo muscular y de los miembros inferiores ofrecería adaptaciones beneficiosas para aumentar la resistencia a la fatiga (Hayes, French y Thomas, 2011). No obstante, se ha visto que tanto flexores

plantares como extensores de rodilla serían los grupos que más sufrirían el daño muscular en descensos (Maeo et al., 2017). Así, podríamos decir que los flexores plantares y especialmente los extensores de rodilla serían grupos musculares a los que deberíamos dotar de una buena resistencia muscular en carreras de montaña.

Por otra parte, y como se podría pensar, el propio entrenamiento específico podría ser el contenido más efectivo. Así, se ha visto que entrenar los descensos mejora la fuerza de los extensores de rodilla (Toyomura et al., 2017). Además, modelar o reproducir las condiciones y características de competición provoca adaptaciones a este tipo de daño o fatiga muscular (Easthope et al., 2014), lo que mejora el rendimiento en sucesivas competiciones. En consecuencia, y de manera sencilla, entrenar las bajadas y el propio perfil de competición mejora lógicamente el rendimiento en bajada y en competición. No obstante, entrenar únicamente el propio gesto de competición puede ser bastante limitado a nivel de mejoras del rendimiento, puesto

Entrenar únicamente el propio gesto de competición puede ser bastante limitado a nivel de mejoras del rendimiento.



que unos valores de fuerza bajos actuarían como limitante para desarrollar todo nuestro potencial. Además, nuestros tendones y nuestra musculatura necesitan formar un armazón fuerte para protegernos de la «agresividad» de las bajadas. En consecuencia, obtener unos valores adecuados de fuerza «máxima» sería clave.

En este sentido, se ha visto que un correcto trabajo de fuerza atenuaría el daño muscular (Burt et al., 2013) y, de manera concreta, el trabajo con sobrecarga excéntrica de los extensores de rodilla actuaría como «protector» del daño en este grupo muscular (Chen et al., 2013). En todo caso, debemos entender que este tipo de entrenamiento (trabajo excéntrico) puede producir un alto daño a las fibras, así que una buena recuperación (al menos 48h) durante los primeros entrenamientos sería necesario (Doma et al., 2015). Así, sería recomendable a su vez un acondicionamiento para iniciar este tipo de trabajo de fuerza y atenuar daño provocado por el propio entrenamiento.

De cualquier modo, el trabajo de fuerza podría ser la manera más efectiva para la

Acumular volumen de entrenamiento de largas caminatas *uphill* en los entrenamientos para ultramaratones sería beneficioso para mejorar la eficiencia mecánica de este gesto.

adaptación del músculo y la prevención de daño muscular (Hyldahl, Chen y Nosaka, 2017). De hecho, en un estudio (Lazzer et al., 2015) se describió la relación entre efectos biomecánicos y fisiológicos en una maratón de montaña en ascenso (43km de 0 a 3.063m sobre el nivel del mar) y se concluyó que los atletas que mostraron un mayor potencia máxima en miembros inferiores a través de la capacidad de salto en CMJ anteriores a la prueba, mostraban incrementos más bajos en el gasto energético en carrera, por lo que se sugería que aquellos con mayor «fuerza explosiva» obtenían un mejor rendimiento. De manera similar, un estudio también en corredores de montaña (Giovannelli et al., 2017) correlacionó de manera significativa una mejora en la

potencia máxima en SJ (*squat jump*) con una menor gasto energético (mejor economía de carrera) a velocidades de 10 y 12km/h, velocidades que están asociadas a intensidades de carreras largas. Con ello podríamos decir que la «fuerza explosiva», podría tener influencia en el rendimiento en carreras de resistencia, especialmente por el efecto en la economía de carrera. En consecuencia, entendemos que para el corredor de *trail* serían muy beneficiosos un correcto trabajo de «fuerza explosiva» o RFD (*rate of force development*), un trabajo con cargas altas y entrenamientos focalizados en el trabajo excéntrico.

Por otra parte, otro contenido que podría pensarse que puede ser adecuado para la

atenuación del daño muscular sería el entrenamiento interválico. Así, se han visto valores altos de daño muscular después de un entrenamiento intermitente, aunque los valores más altos eran en los isquiosurales (Thompson, Nicholas y Williams, 1999), lo que podría ser más interesante para el entrenamiento del corredor de ruta que para el de *trail*. En todo caso, se ha mostrado que los entrenamientos interválicos de *sprint* causarían una respuesta aguda de mayor daño y fatiga muscular que los más largos, debido a que éstos incidirían más de manera aguda sobre respuestas cardiovasculares (WieWelhoVe et al., 2016). De cualquier forma, podría ser interesante el trabajo de cuestas cortas con cierta inclinación y alta intensidad por el estrés muscular que ello podría provocar.

Otros aspecto que podría atenuar el daño muscular, sería aumentar la cadencia o disminuir la longitud de zancada (y con ello el impacto), reducir el *overstride*, para el sexo femenino evitar tomar anticonceptivos orales podría disminuir la susceptibilidad al daño muscular (Hicks, Onambélé-Pearson, Winwood y Morse, 2017), utilizar bastones (que restarían esfuerzo a los miembros inferiores), usar zapatillas con

algo más de amortiguación (para reducir el impacto aunque podría empeorar el coste energético) y una correcta estrategia de alimentación e hidratación y un adecuado *pacing* de carrera.

Respecto al *pacing* y para prevenir una fatiga prematura, es muy importante en carreras de larga distancia ajustar el ritmo de competición. En este sentido, se ha visto que los corredores más rápidos en una prueba de 100km corrían con menores cambios de intensidad y eran capaces de mantener su intensidad inicial de carrera por una mayor distancia que los corredores más lentos (Waldeck y col., 2012), además de acabar la carrera con una pérdida de velocidad inicial de un 10-15% o menor, manteniendo además dicha velocidad durante más tiempo (50km aprox.) que los corredores de menor nivel (Lambert et al, 2014), lo cual ocurre de manera similar en *ultratrail* de 161km (Hoffman et al. 2014). Con ello, no sólo se demostró que los corredores con mayor nivel de condición física llegan antes a la meta, sino que la parte estratégica y la experiencia importan y mucho en carreras largas. Esto que acabamos de comentar, actualmente se puede medir y analizar con, por ejemplo, la potencia (ver Figura 1).

Estrategias para mejorar el coste energético

Como hemos comentado, el *trail running* puede acarrear altos grados de fatiga. Por ejemplo, en un estudio (Scheer et al. 2018) se analizaron diferentes parámetros antes, en el kilómetro 21, kilómetro 43 y al finalizar la prueba de 65km, hallándose que: 1) a medida que avanzaba la competición los corredores mostraban una peor economía de carrera (sobre un 10% mayor tanto en subida y llano como en bajada después de la competición respecto al inicio; 2) a partir del kilómetro 21 se indicaba un punto de incremento en el uso de grasas como fuente de energía; y 3) el coste energético vendría dado por cambios a nivel neuromuscular (aunque no correlacionado siempre con el daño muscular) y por factores biomecánicos.

Por otro lado, de manera clara, parece que acumular volumen de entrenamiento de largas caminatas *uphill* en los entrenamientos para ultramaratones sería beneficioso para mejorar la eficiencia mecánica de este gesto (Vernillo et al., 2016) y, con ello, el rendimiento. En este mismo sentido, parece que el volumen de entrenamiento (especialmente a baja intensidad) tiene una alta relación con el rendimiento. Así, en una ultramaratón de



Figura 1. Imagen del programa WK04 en la que se analiza la potencia en diferentes modos de ejercicio (bajando, subida corriendo, subida caminando y corriendo en llano) de un *trail* de unos 48km, analizando la pérdida de potencia de aproximadamente la primera parte de carrera respecto a la segunda.

Trail running

Teniendo en cuenta que en *ultratrail* se compite más de la mitad del tiempo por debajo del primer umbral ventilatorio, parece clara la importancia de ser «económico» a bajas intensidades.



12 horas, aquellos atletas con un mayor volumen mensual de entrenamiento consiguieron los mejores resultados (Franco et al, 2018). Además, teniendo en cuenta que en *ultratrail* se compite más de la mitad del tiempo por debajo del primer umbral ventilatorio (Fornasiero et al., 2018), parece clara la importancia de ser «económico» a bajas intensidades. En consecuencia, podríamos entender que, además de lo comentado anteriormente, el propio entrenamiento específico de montaña podría beneficiarnos a la hora de atenuar la caída del coste energético durante una prueba de larga distancia.

Por otra parte, de manera similar a la mejora de la resistencia a la fatiga o atenuación del daño muscular, otras formas de mejorar la economía de carrera sería contar con al-

tos valores de fuerza, el propio entrenamiento cuesta arriba y cuesta abajo, el entrenamiento de fuerza (fuerza «máxima», «explosiva» y pliometría), el entrenamiento con sobrecarga excéntrica, la mejora de la fuerza de la musculatura complementaria (core, musculatura de la cadera...) y el propio entrenamiento específico (p. ejem. entrenar la «transición» entre correr cuesta arriba para pasar a correr seguidamente en llano o cuesta abajo). Además, podría ser interesante añadir entrenamiento cruzado para incrementar el volumen de entrenamiento (esquí, ciclismo...) y optar por polarizar el entrenamiento.

Por último, otro factor que podría ayudar a la optimización del coste energético en el corredor de montaña sería el uso de bastones. Por un lado, en pendientes del 20% *uphill* cami-

nando la utilización de bastones disminuiría en torno a un 25% y un 15% el trabajo de la musculatura de los flexores plantares y vasto interno, respectivamente (Foisaac et al., 2008). Además, se ha visto también que proporcionan un efecto facilitador en la fase de propulsión en terreno llano y en la fase de absorción en carrera cuesta abajo (Daviaux et al., 2013), lo cual sería beneficioso tanto a nivel de rendimiento como de prevención de lesiones. Sin embargo, algunos estudios han sugerido un coste energético mayor con el uso de bastones (Tvznik y Kutek, 2012), especialmente por la mayor implicación de los miembros superiores. Por ello, es crucial entrenar con los bastones para adaptar a la musculatura y mejorar a nivel técnico si se quiere competir con ellos. En todo caso, correr con bastones provocaría una disminución de la sobrecarga en las ar-



ticulaciones de los miembros inferiores, una mayor percepción de estabilidad, una tendencia a evitar un patrón de pisada de talón y una reducción en las fuerzas de impacto (Tzvik y Kutek, 2012), con lo que disminuiría el riesgo de lesión así como la susceptibilidad de daño muscular. Sin embargo, la principal aplicación de los bastones sería en las subidas. Así, en un reciente estudio (Giovanelli, Sulli, Kram y Lazzer, 2019) se determinó que en pendientes muy pronunciadas (a partir del 47%) el uso de bastones provocaba un menor gasto energético pero que, en todo caso, se recomendaba su uso especialmente a partir de pendientes del 27% porque resultaba en un coste energé-

tico menor (del 2,5%, aunque no significativo) y una percepción del esfuerzo también menor, lo cual sugeriría beneficios en un esfuerzo prolongado especialmente a nivel local de la musculatura. Por tanto, su uso o no depende del corredor y de la intensidad y distancia de la prueba, siendo probablemente más interesante su utilización en carreras en las que optimizar el coste energético sea una prioridad (larga o muy larga distancia) y en aquellas donde haya pendientes muy pronunciadas (p. ejem. kilómetro vertical). De cualquier modo, se deberán fortalecer los miembros superiores para su uso y utilizarlos y trabajar la técnica durante las sesiones de entrenamiento. ■ ■ ■ ■

BIBLIOGRAFÍA

- GIANDOLINI, M., HORVAIS, N., ROSSI, J., MILLET, G.Y., MORIN, J.B. y SAMOZINO, P. (2016). Acute and delayed peripheral and central neuromuscular alterations induced by a short and intense downhill trail run: Fatigue after a downhill trail run. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(11), 1321-1333. <https://doi.org/10.1111/sms.12583>.
- GIOVANELLI, N., ORTIZ, A.L.R., HENNINGER, K. y KRAM, R. (2016). Energetics of vertical kilometer foot races: is steeper cheaper? *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 120(3), 370-375. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00546.2015>.
- GIOVANELLI, N., SULLI, M., KRAM, R. y LAZZER, S. (2019). Do poles save energy during steep uphill walking? *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1557-1563. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04145-2>.
- ORTIZ, A.L.R., GIOVANELLI, N. y KRAM, R. (2017). The metabolic costs of walking and running up a 30-degree incline: Implications for vertical kilometer foot races. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1869-1876. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3677-y>.
- RAMOS-CAMPO, D.J., ÁVILA-GANDÍA, V., ALACID, F., SOTO-MÉNDEZ, F., ALCARAZ, P.E., LÓPEZ-ROMÁN, F.J. y RUBIO-ARIAS, J. Á. (2016). Muscle damage, physiological changes, and energy balance in ultra-endurance mountain-event athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 41(8), 872-878. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0093>.
- SNYDER, K.L., KRAM, R. y GOTTSCHALL, J.S. (2012). The role of elastic energy storage and recovery in downhill and uphill running. *Journal of Experimental Biology*, 215(13), 2283-2287. <https://doi.org/10.1242/jeb.066332>.
- VERNILLO, G., GIANDOLINI, M., EDWARDS, W.B., MORIN, J.B., SAMOZINO, P., HORVAIS, N. y MILLET, G.Y. (2017A). Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Medicine*, 47(4), 615-629. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0605-y>.
- WILLIS, S.J., GELLAERTS, J., MARIANI, B., BASSET, P., BORRANI, F. y MILLET, G.P. (2019). Level Versus Uphill Economy and Mechanical Responses in Elite Ultra-Trail Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-15. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2018-0365>.

 **AM TRAINING**

**Entrenador de corredores
Especialidad en *trail running***

**¿EMPEZAMOS
A ENTRENAR?**

w w w . a m t r a i n i n g . e s