

**EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN EL
CORREDOR DE MONTAÑA, UNA REVISIÓN
SISTEMATICA.**

**STRENGTH TRAINING IN THE TRAIL RUNNER,
A SYSTEMATIC REVIEW**

Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Universidad Miguel Hernández



Alumno: Mingol Cuadros, Carlos

Tutor Académico: Juan Recio, Casto

ÍNDICE

1. Introducción	2
1.1. Factores fisiológicos determinantes en el rendimiento	2
2. Método	4
2.1 Revisión bibliográfica	5
2.2 Resultados	6
3. Discusión	9
3.1 Conclusiones	10
4. Propuesta de intervención	11
5. Referencias bibliográficas	15



1. INTRODUCCIÓN

Según la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME), las carreras de montaña o *trail running* son una modalidad deportiva que puede desarrollarse en alta, media o baja montaña, ya sea estival o invernal y que consiste en recorrer un itinerario a pie en el menor tiempo posible y con el máximo respeto al medio natural. En los últimos años, ha aumentado considerablemente el número de corredores, así como la organización de eventos deportivos de esta modalidad (Llopis y Vilanova, 2015), produciéndose en el contexto de la práctica deportiva en espacios naturales, lo que se ha denominado particularmente, el boom de las carreras de montaña o *trail running* (Venero, 2007; Zagalaz, Latorre y Cachón, 2002).

Varias pueden ser las causas que explican este denominado boom (Urbaneja, Yuba, Roca y Torbidoni, 2018): a) El incremento de la oferta de competiciones deportivas. b) El aumento de participantes. En España la FEDME cuenta con 2600 clubs afiliados, y una cifra que sobrepasa las 108.000 licencias federativas. c) El mercantilismo de marcas comerciales y la expansión de estas, hasta ahora desconocidas para muchos. d) El aumento de canales de radio y televisión que tienen programas específicos relacionados con las carreras de montaña. e) La dinamización del territorio: siendo una actividad de turismo receptor cada vez más consolidada y socialmente aceptada.

La FEDME establece que el recorrido de las competiciones de montaña debe de ser siempre por pistas y caminos no asfaltados, senderos, barrancos, etc. y no superar el 50% de pista transitable para vehículos. Existen tres tipos de modalidades de carreras de montaña: 1. Las carreras en línea por montaña, con una distancia mínima de 21 km y un desnivel mínimo de 1.000 m para las carreras de hasta 34 km y un mínimo de 1.500 m para carreras de más de 34 km; 2. Las carreras verticales, que se desarrollan en terrenos de media y alta montaña, y constan de una única subida, con un desnivel mínimo en subida de 700 metros y una distancia máxima de 8 km, con un porcentaje de pendiente media que estará siempre entre el 20% y el 45%. Solo se considerará kilómetro vertical aquella competición de 1.000 metros de desnivel positivo entre la salida y la llegada (+/- 5% tolerancia) que se desarrolle sobre terreno irregular de gran pendiente, y su recorrido no exceda de los 5 Kilómetros y 3. Las carreras de ultra trail, que son pruebas deportivas que se caracterizan por su desarrollo en recorridos que trascurren por caminos y terrenos de baja, media y alta montaña, con una distancia mínima de 80 kilómetros y un desnivel positivo acumulado de mínimo 4.000 m en una sola etapa.

Tradicionalmente, la capacidad cardiovascular ha sido considerada uno de los principales factores limitantes del rendimiento en las modalidades de larga duración (Basset y Howley, 2000). Teniendo en cuenta las características de las diferentes modalidades de las carreras de montaña, en las que se puede estar desde los 40 min del Km vertical a las más de 12 h en una carrera de ultra trail, los factores fisiológicos determinantes en el rendimiento de los corredores de montaña pueden variar notablemente. Sin embargo, los que van a marcar en mayor medida el rendimiento en estas disciplinas [70% de la varianza en el rendimiento de resistencia en modalidades de larga duración (di Prampero, Atchou, Bruckner, y Moia, 1986)] son las medidas clásicas como el VO_2 max. y el umbral de lactato y la economía de carrera, que en los últimos años ha sido señalada como un indicador de rendimiento aún más determinante que las dos primeras (Paavolainen, Nummela, y Rusko, 2000). A continuación, se describen los principales factores fisiológicos determinantes en el rendimiento en corredores de montaña y el efecto que produce el entrenamiento de fuerza en ellos.

1.1. Factores fisiológicos determinantes en el rendimiento.

a) CONSUMO MÁXIMO DE OXIGENO (VO_2 max).

Desde hace bastantes años se asocia el tener un $VO_2\text{max}$ más alto, con un mayor rendimiento en deportes de resistencia de larga duración (Bassett y Howley, 2000; Costill et al., 1973; Saltin y Astrand, 1967). Sin embargo, atletas con el mismo $VO_2\text{max}$ pueden tener un rendimiento muy diferente durante una carrera. Por ello, es importante destacar que un mayor $VO_2\text{max}$ no equivale a un mayor rendimiento, aunque los atletas de mayor rendimiento en resistencia muestran valores muy altos de $VO_2\text{max}$ (Bassett y Howley, 2000; Costill et al., 1973; Impellizzeri, Marcora, Rampinini, Mognoni y Sassi, 2005; Lucia et al., 1998; Saltin y Astrand, 1967). Hay poca evidencia de que el entrenamiento de fuerza deba ser el entrenamiento principal para la mejora del $VO_2\text{max}$, aunque si se ha encontrado un pequeño efecto cuando concurren el entrenamiento de resistencia y el de fuerza en corredores de larga distancia (Støren, Helgerud, Stoa y Hoff, 2008; Taipale et al., 2010).

b) UMBRAL DE LACTATO

El umbral de lactato se relaciona con la intensidad de ejercicio en la que el lactato (ácido láctico) empieza a acumularse en la corriente sanguínea (Tokmakidis, Leger y Piliandis, 1998). Teóricamente, cuanto mayor velocidad pueda desarrollar un corredor en el umbral de lactato, mayor velocidad podrá mantener durante un esfuerzo prolongado. Numerosos estudios mostraron una alta relación entre el rendimiento en resistencia de larga duración y la velocidad en el umbral de lactato (Impellizzeri et al., 2005).

En cuanto a la influencia del entrenamiento de resistencia, la literatura muestra controversia, ya que existen estudios que no detectan cambios significativos en el umbral del lactato de los corredores (Hoff y Helgerud, 2002; Mikkola et al., 2011; Paavolainen et al., 1999; Støren et al., 2012) y otros que si observan cambios significativos en la mejora de la velocidad en el umbral del lactato (Mikkola et al., 2007a, 2011; Guglielmo et al., 2009; Taipale et al., 2013). Cabe destacar que ninguno de los estudios ha revelado un efecto en el que se vea reducida la velocidad en el umbral del lactato en los corredores de larga distancia.

c) ECONOMIA DE CARRERA

La economía de carrera es entendida como el consumo de oxígeno ($VO_2/\text{kg}/\text{min}$) requerido para correr a una velocidad submáxima determinada (Foster y Lucia, 2007). Se trata de un factor multidimensional que es determinado por el historial de entrenamiento, la antropometría, la biomecánica y la fisiología (Fletcher, Esau y MacIntosh, 2009), lo que provoca una gran variabilidad en este factor entre deportistas con un $VO_2\text{max}$ similar (Conley y Krahenbuhl, 1980; Horowitz et al., 1994). Por lo tanto, este factor destaca como el más importante, ya que es el que puede explicar la diferencia en el rendimiento en dos corredores de resistencia de larga duración con el mismo $VO_2\text{max}$ (Conley y Krahenbuhl, 1980; Costill, 1967; Horowitz et al., 1994). Existen una gran cantidad de estudios que muestran una mejora en la economía de carrera, después de haber realizado un entrenamiento combinado de fuerza máxima y sesiones de resistencia habituales, comparados con grupos control que solo realizaban entrenamiento de resistencia habitual (Guglielmo et al., 2009; Hoff y Helgerud, 2002; Johnston et al., 1997; Millet et al., 2002; Støren et al., 2008; Taipale et al., 2010). Conjuntamente, también se encuentran evidencias de mejoras en la economía de carrera en entrenamientos combinados de fuerza explosiva y entrenamiento de resistencia (Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003; Taipale et al., 2010; Turner et al., 2003).

Como se puede comprobar en los párrafos precedentes, el entrenamiento de fuerza para deportistas de resistencia de larga duración ha sido un tópico muy estudiado durante los últimos años que ha generado una gran controversia. Por el contrario, los deportistas de modalidades de larga duración siempre han sido reacios al entrenamiento de fuerza, posiblemente por el desconocimiento de los propios deportistas y entrenadores acerca de su entrenamiento y de sus

posibles beneficios sobre el rendimiento en las modalidades de resistencia (Beattie, Kenny, Lyons y Carson, 2014). Además, la mayoría de los estudios se han centrado en sus efectos de forma aislada o en concurrencia con el entrenamiento de resistencia en corredores de asfalto, ciclistas o triatletas (Impellizzeri et al., 2005; Mikkola et al., 2011).

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica fue (1) examinar los principales factores del rendimiento en los corredores de montaña, (2) analizar la influencia del entrenamiento de fuerza en dichos factores y (3) realizar una propuesta de intervención que permita a los corredores de montaña optimizar su rendimiento a través del entrenamiento de fuerza.

2. MÉTODO.

Siguiendo los criterios PRISMA (Preferred Reporting Items for Systemic Reviews and Meta-analyses) (Urrútia y Bonfill, 2010) se realizó una revisión sistemática de la literatura científica actual con el objetivo de desarrollar una propuesta de intervención, que ayude a los corredores de *trail running* a planificar sus entrenamientos de fuerza y aumentar su rendimiento en las carreras de montaña. Para ello, se realizó una búsqueda de artículos relacionados con la temática en la base de datos PubMed. Para realizar esta búsqueda bibliográfica se introdujo en la base de datos los siguientes términos: (Strength Training) OR (Resistance Training) AND (Running Economy) OR (Trail running).

La última búsqueda en la base de datos se realizó el 15 de mayo de 2018.

Para la selección de los artículos incluidos en la presente revisión, se realizó una primera criba en la que se eliminó aquellos artículos que por título y/o resumen que no se relacionaban con la temática. A continuación, se realizó una lectura completa para decidir la elegibilidad o no de los artículos restantes. Después de aplicar los distintos criterios de inclusión que se detallan a continuación, se seleccionaron un total de 11 artículos.

Criterios de inclusión:

- Análisis de variantes determinantes para el corredor de montaña.
- Estudios con corredores de resistencia de modalidades de larga y media duración y/o de campo a través
- No ser una revisión sistemática.
- Publicaciones con menos de diez años de antigüedad.

2.1. Revisión bibliográfica

Una vez realizado el procedimiento de la búsqueda de artículos con la estrategia anteriormente detallada, se explican los aspectos más importantes de cada uno de los artículos que incluimos en la revisión.

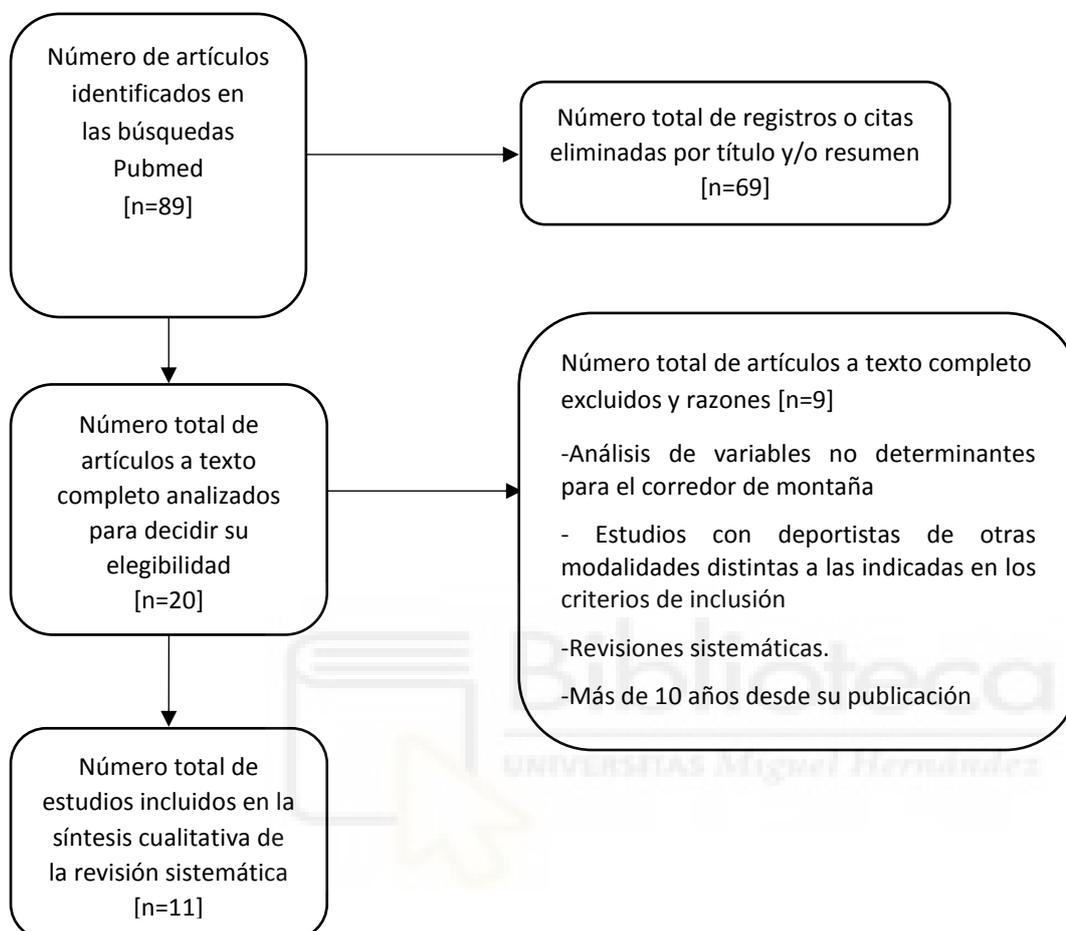


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA ilustrando los criterios de inclusión y exclusión de la revisión sistemática.

2.2. Resultados

Tabla 1. Estudios incluidos en la revisión sistemática: participantes, diseño del estudio y resultados

Titulo	Autor	Muestra	Test	Resultados	Conclusiones
Acute effects of plyometric and resistance training on running economy in trained runner.	(Marcello, Greer and Greer, 2017)	9 H universitarios campo a través. PRT: 4 H GC: 4 H	-Test incremental en tapiz rodante. -RE test 12'.	-Test al 60% VO2 peak trial: Grupo PRT: ↑ en VO2 y EE. -Test al 80% VO2 peak trial: ~ VO2max, RE y EE.	El protocolo de PRT de alta intensidad redujo significativamente la RE a una intensidad de ejercicio moderado en corredores entrenados.
Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runner.	(Piacentini et al., 2013)	16 H y 5 M maratonianos masters. MST: 4H y 2M RT: 3H y 2M GC: 5H	-Datos antropométricos -Tasa metabólica en reposo -RE, RPE, 1RM, SJ, CMJ.	Grupo MST: ↑ 1RM y RE a ritmo maratón; ~ CMJ, SJ y STIF Grupo RT: ~ 1RM, CMJ, SJ, STIF GC: ~ 1RM y STIF; CMJ y SJ.	Un entrenamiento concurrente de Fmax y resistencia mejora la RE, aunque el desarrollo de la fuerza es menor cuando se combinan ambos.
Concurrent training in elite male runners, the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes.	(Sedano et al., 2013)	18 H atletas SG: 6 H ESG: 6 H E: 6 H	-CMJ -3 km contrarreloj -1 RM -Test incremental en tapiz rodante	SG: ↑ CMJ y RE ESG: ↑ RE, ~ CMJ E: ~ RE y CMJ	Agregar entrenamiento explosivo y de fortalecimiento al entrenamiento de resistencia resulto en un mayor rendimiento de carrera en términos de velocidad máxima y economía de carrera, sin cambios en variables como el VO2max o HRmax.
Effect of speed endurance and strength training on performance, running economy and muscular adaptations in endurance trained runners.	(Vorup et al., 2016)	16 H corredores entrenados. CSS: 9 H GC: 7 H	-400m- correr -Prueba Yo-Yo -10000m- correr -Test incremental en tapiz rodante -Sprint 30'' -Biopsia muscular	CSS: ↑ MAS, Yo-Yo test y en 400 ml. GC: no existen cambios relevantes.	Contrario a la hipótesis, el rendimiento en 10K y la economía de carrera no cambiaron con la intervención. Se mejoró en los 400m, la prueba yo-yo, el test incremental y el sprint de 30 segundos.

Tabla 1: Continuación					
Effects of a concurrent strength training an endurance training on running performance and running economy in recreational maratón runner.	(Ferrauti, Bergermann y Fernandez-Fernandez, 2010)	8 M y 14 H corredores populares de maratones. ES: 2M y 9H E: 4M y 7 H	-Test incremental en tapiz rodante. -test de fuerza máxima isométrica	ES: ↑ fuerza extensores de pierna y flexores de tronco, y ~ el VO2max y el umbral de lactato. E: ~ fuerzas generadas y ~ en VOmax y el umbral de lactato	Observando que en el grupo de intervención faltan cambios significativos en la duración y frecuencia de la zancada, no se logran adaptaciones relacionadas con una mejora de la activación nerviosa o no se transfirieron a la técnica de carrera.
Effects of heavy strength training on running performance and determinants of running performance in female endurance athletes.	(Vikmoen et al., 2016)	19 M atletas E+S: 11M E: 8M	-1 RM, CMJ, SJ. -Test 40' -Rigidez tendón rotuliano.	E+S: ↑ 1RM, CMJ y SJ, ~rigidez tendón rotuliano, RE y VO2max E: ~ 1RM, CMJ, SJ, rigidez tendón rotuliano, RE y VO2max	Realizar un entrenamiento de Fmax durante el entrenamiento de resistencia no afectó al rendimiento de carrera de 40 minutos, ni a la economía de carrera en comparación con el entrenamiento de resistencia habitual.
Effects of resistance training on running economy and cross country performance.	(Barnes, Hopkins, Mcguigan, Northuis y Kilding, 2013)	28 H y 22 M universitarios campo a través. HRT: 13 H y 9 M PRT: 10 H y 10M	-5km TT -Test incremental en tapiz rodante. -1 RM -test polimétrico de 5 saltos	HRT: ↑ RE y VO2 a 14km/h, ↑ 1RM y pico de fuerza en el test pliométrico de 5 saltos. PRT: ↑ Tiempo de contacto y tiempo de vuelo y 1 RM, ~ RE, VO2max.	Las mayores mejoras se observan en el rendimiento competitivo y una mejora en RE y la velocidad máxima después de HRT en comparación con PRT, como resultado de las mejoras en la fuerza de las extremidades inferiores, la rigidez de las piernas y la utilización de la energía elástica almacenada.
Effects of strength training on running economy.	(Guglielmo, Greco y Denadai, 2008)	16 H corredores EST: 9 H HWT: 7 H	-Test incremental en tapiz rodante -Test de velocidad submáxima constante -CMJ, 1RM	EST: ~ RE y VO2, ↑ 1 RM y CMJ. HWT: ~ VO2, ↑ RE, 1RM y CMJ.	EST puede promover una mejora significativa en la fuerza máxima y explosiva, sin modificar la economía de carrera. Sin embargo, HWT puede promover una mejora significativa de la economía de carrera

Tabla 1: Continuación

Effects of strength, explosive and plyometric training on energy cost of running in ultra-endurance athletes.	(Giovanelli, Taboga, Rejc y Lazzer, 2017)	25 H ultra atletas EG: 13 H GC: 12 H	-Test incremental en tapiz rodante -SJ	EG: ↓ Cr y ↑ MMP, ~ VO2 GC: ~ VO2, Cr y MMP	El programa de entrenamiento condujo a una mejoría del Cr en corredores, a diferentes velocidades submáximas. Existe una relación inversa entre los cambios en Cr y los cambios en MMP que pueden explicar parcialmente la disminución de Cr.
The acute effect of concurrent training on running performance over 6 days.	(Doma y Deakin, 2015)	16 H y 8 M corredores CCT: 8H y 4 M ST: 8 H y 4 M	-VO2max test -MVC test -6RM	CCT: ~ Cr, ↑ RPE 4º y 5º día, ↓ TTE y MVC, ↑ RMS y RMF ST: ↑ MVC, ~ Cr, RPE, TTE, RMS y RMF	El hecho de realizar CCT durante más de seis días afecta negativamente al MVC test y TTE a consecuencia del aumento de los índices de RMS y RMF.
The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance.	(Doma y Deakin, 2013)	14 H corredores entrenados.	-VO2max test -6RM -RE test -test de fuerza máxima isométrica	SR-RE: ↑ Cr y RPE, ↓ TTE y el pico de fuerza de fuerza máxima isométrica test y ~ VO2. RS-RE: ↑ RPE, ↓ TTE y ~ Cr, VO2 y el pico de fuerza en el test de fuerza máxima isométrica	Según los resultados observados, como TTE fue significativamente menor durante SR-RE y RS-RE, puede que se necesite un período de recuperación de más de 1 día después del entrenamiento de fuerza y resistencia, independientemente de la secuencia del modo de entrenamiento cuando se realiza una sesión de alta intensidad.

PRT= entrenamiento pliométrico ; EE= gasto de energía; RE= economía de carrera; MST= entrenamiento de fuerza máxima; RT= entrenamiento fuerza resistencia; GC= grupo control; SG= Grupo fuerza; ESG=grupo de fuerza resistencia; CSS= combinación de fuerza y Resistencia a la velocidad; E= entrenamiento de resistencia; E+S=entrenamiento de Resistencia + entrenamiento de fuerza; HRT= entrenamiento de alta resistencia; EST= entrenamiento de fuerza explosiva; HWT= entrenamiento de fuerza máximo; vOBLA= velocidad correspondiente a 3.5 mM de concentración de lactato sanguíneo; EG= Grupo experimental; Cr= coste de carrera; RPE= ratio del esfuerzo percibido; CCT= entrenamiento concurrente; RMS= ratio del dolor muscular; RMF= ratio de la fatiga muscular; SR= sesión de carrera; RS=Carrera a pie antes del entrenamiento de fuerza; TTE= tiempo de Carrera hasta el agotamiento; TT= contrarreloj.

3. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar los principales factores determinantes del rendimiento en corredores de montaña y principalmente analizar la influencia del entrenamiento de fuerza en dichos factores para realizar una propuesta de intervención que permita a los corredores de montaña optimizar su rendimiento a través del entrenamiento de fuerza. A pesar de la gran cantidad de estudios que analizan el efecto del entrenamiento de fuerza en distintas modalidades de resistencia, no se encontraron estudios específicos con corredores de montaña o *trail runners*. Por lo tanto, se seleccionaron aquellos estudios en los que participaban corredores de resistencia de media y larga duración y de campo a través, ya que los factores fisiológicos determinantes en el rendimiento en las carreras de montaña pueden mostrar una gran similitud.

Tras un análisis de la literatura existente de las variables examinadas tras un entrenamiento de fuerza aislado o en combinación con otros entrenamientos de resistencia habituales, destaca que la gran mayoría de los estudios analizan las mismas variables. Por un lado, se examina la fuerza que genera la musculatura del tren inferior a través de test de fuerza máxima isométrica, 1RM o test de saltos (SJ, CMJ, etc) y por otro lado, los factores fisiológicos determinantes de la carrera a pie: el VO₂max, umbral de lactato y la economía de carrera (i.e. Doma y Deakin, 2013; Piacentini et al., 2013; Vikmoen et al., 2016).

TIPOS DE MANIFESTACIONES Y ENTRENAMIENTOS COMBINADOS DE FUERZA

Los distintos tipos de manifestaciones y entrenamientos combinados de fuerza analizados en esta revisión han sido: el entrenamiento de fuerza explosiva (Giovanelli, Taboga, Rejc y Lazzer, 2017; Guglielmo, Greco y Denadai, 2008), de fuerza máxima (Piacentini et al., 2013; Vikmoen et al., 2016) y de fuerza-resistencia (Sedano et al., 2013), entrenamiento pliométrico (Marcello et al., 2017), entrenamiento combinado de fuerza y resistencia a la velocidad (Vorup et al., 2016) y entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia (Doma y Deakin, 2013; 2015; Ferrauti et al., 2010; Piacentini et al., 2013; Sedano et al., 2013). Según los resultados observados en la tabla 1, la mayoría de los estudios muestran que los métodos de entrenamiento más eficaces para mejorar el rendimiento en las carreras de montaña son: el entrenamiento de fuerza máxima (Guglielmo, Greco y Denadai, 2008; Piacentini et al., 2013), el entrenamiento de fuerza-resistencia (Sedano et al., 2013) y el entrenamiento pliométrico (Marcello et al., 2017), pues aunque no muestren grandes mejoras en factores como el VO₂max y el umbral de lactato, sí que muestran una mejora en la economía de carrera. Otros como el entrenamiento de fuerza explosiva, a pesar de mostrar un aumento en la fuerza del tren inferior (Guglielmo, Greco y Denadai, 2008), no se tradujo en una mejora en la economía de carrera ni en ningún otro factor determinante en el rendimiento en la carrera. Por último, cabe destacar que el entrenamiento combinado de fuerza con resistencia a la velocidad no mejoró ninguno de los factores asociados al rendimiento en la carrera a pie de media distancia (Vorup et al., 2016).

DURACIÓN

A excepción de Doma y Deakin (2015) que analizaron el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia durante 6 días, el resto de los estudios analizados en la presente revisión emplearon periodos entre 8 y 12 semanas, cumpliendo las recomendaciones de Badillo y Rivas (2002) que establecen un mínimo de 6 semanas y un máximo de 16 semanas para conseguir efectos positivos en el desarrollo de la fuerza.

FRECUENCIA SEMANAL

A pesar de que el American College of Sport Medicine (2009) recomienda de forma general una frecuencia de entrenamiento por semana para el entrenamiento de fuerza que va desde los 2-3 días para principiantes hasta los 4-5 días para deportistas avanzados, en todos los estudios analizados en esta revisión, se utilizaron siempre dos sesiones de entrenamiento de

fuerza por semana, independientemente del tipo de entrenamiento de fuerza realizado. Sin embargo, como las carreras de montaña estaría en el grupo de modalidades deportivas en las que las necesidades de fuerza dinámica máxima son bajas, dos sesiones semanales de entrenamiento de fuerza podrían ser suficientes para conseguir mejoras (González-Badillo y Ribas Serna, 2014).

TIPOS DE EJERCICIOS

En todos los estudios analizados, el entrenamiento de fuerza se focaliza principalmente en la mejora de la fuerza del tren inferior, realizando por un lado ejercicios monoarticulares guiados en maquina como el leg extensión y el curl femoral sentado o tumbado, etc., y por otro lado ejercicios multiarticulares con peso libre como la sentadilla, el peso muerto y el lunge, etc. (Piacentini et al., 2013). Por otra parte, los estudios que analizan el efecto del entrenamiento pliométrico incluyen ejercicios basados en el ciclo de estiramiento acortamiento de la musculatura, empleando distintos tipos de saltos, como 5 squat jumps, saltos sucesivos entre vallas, etc.

3.1 Conclusiones

Entre las conclusiones que podemos deducir tras analizar los principales resultados de la revisión es que un programa de entrenamiento de fuerza con una frecuencia de dos días a la semana en un periodo de entre 8 y 12 semanas puede generar una mejora considerable en el rendimiento en la carrera a pie de media y larga duración (Marcello, Greer y Greer, 2017). Cabe destacar, que esta mejora en el rendimiento está asociada principalmente a una mejora en la economía de carrera, ya que tanto el VO_2 max como el umbral del lactato, aunque presentan algunos cambios, no son significativos como para asegurar que la mejora en el rendimiento sea por estos (Giovannelli, Taboga, Rejc y Lazzer, 2017).

Además, no todos los tipos de entrenamiento van a conseguir los mismos beneficios, ya que cuando se han comparado diferentes métodos de entrenamiento de fuerza los resultados han sido diversos (Guglielmo, Greco y Denadai, 2008). De los resultados mostrados, parece ser que el entrenamiento de fuerza más eficaz para una mejora en los factores determinantes de la carrera a pie, se debería realizar separado al entrenamiento habitual de resistencia, ya que la mejora de la fuerza es menor si se combina con el entrenamiento de resistencia, posiblemente porque los estímulos que recibe la musculatura durante un tipo de trabajo u otro son completamente diferentes, pudiendo interferir uno en el otro (Doma y Deakin, 2015; Piacentini et al., 2013). Además, se debería realizar si es posible en épocas en las que el calendario competitivo no sea muy denso, ya que durante el periodo en el que se esté llevando a cabo el entrenamiento de fuerza, el rendimiento en la competición podría disminuir.

Dependiendo de la experiencia del corredor de montaña en el entrenamiento de fuerza, los ejercicios deberían seguir una progresión desde los ejercicios monoarticulares en máquinas guiadas hasta los ejercicios multiarticulares con pesos libres, focalizándolos principalmente en el tren inferior.

Por último, hay que destacar algunas limitaciones de esta revisión, ya que el rendimiento en las carreras de montaña no tiene como único factor determinante la vía metabólica aeróbica, en la cual nos centramos, sino que también influyen factores en los que obtenemos la energía por vías metabólicas anaeróbicas, por ejemplo, durante una zona de subida con gran desnivel y de corta distancia. Teniendo en cuenta los beneficios del entrenamiento de fuerza en los factores de rendimiento anaeróbico (Karasiak & Guglielmo, 2018), futuros estudios deberían analizar la relación entre el entrenamiento de fuerza, los factores determinantes anaeróbicos y el rendimiento en disciplinas de media y larga distancia.

4. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Una vez realizada la revisión de la literatura actual sobre los efectos del entrenamiento de fuerza en corredores de media y larga duración y/o campo a través, se propone un programa de entrenamiento de fuerza para un corredor de montaña que participa en carreras entre 21 y 42 km y un desnivel positivo entre 1000 m y 2800 m. con algo de experiencia en el entrenamiento de fuerza. El entrenamiento de fuerza se realizará en un periodo precompetitivo ya que, tras los estudios analizados, algunos resultados mostraron que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia puede perjudicar el rendimiento en resistencia durante el periodo en el que se está llevando a cabo (Doma y Deakin, 2015). El periodo de entrenamiento tendrá una duración de 10 semanas con una frecuencia de 2 sesiones por semana (20 sesiones de entrenamiento de fuerza).

En primer lugar, antes de empezar el periodo de entrenamiento de fuerza, realizaremos una valoración del sujeto mediante el test de 1RM en aquellos ejercicios incluidos en el programa de entrenamiento, tanto en máquinas guiadas como con peso libre. Además, para la evaluación de la condición cardiorrespiratoria y la economía de carrera realizaremos el test de Bruce, ya que es un test incremental en tapiz rodante en el que la intensidad va subiendo tanto en velocidad como en inclinación. Por último, para la evaluación de la mejora de la fuerza explosiva, realizaremos un test de CMJ sobre plataforma de fuerzas, grabado por dos cámaras en el plano frontal y sagital. Estos test se realizarán la semana previa al comienzo del programa del entrenamiento de fuerza en el siguiente orden: test de CMJ, test de 1 RM de los diferentes ejercicios y test de Bruce, con una separación mínima de 48 h entre ellos.

El periodo de entrenamiento de 10 semanas se dividirá en: (1) dos semanas de acondicionamiento muscular, en las que el objetivo principal será el de mejorar la fuerza general, centrándonos en el tren inferior y la musculatura del tronco y preparar al deportista para soportar cargas de entrenamiento superiores; (2) cuatro semanas en las que trabajaremos buscando la mejora de la fuerza máxima, fuerza explosiva y la fuerza útil, en este caso la fuerza resistencia y (3) por ultimo otras cuatro semanas en las que buscamos como objetivo principal, el mantenimiento de la fuerza máxima y explosiva y especialmente la mejora de la fuerza resistencia, ya que es la manifestación de fuerza específica que principalmente nos va a exigir la disciplina, es decir, ser capaces de generar niveles de fuerza submáxima durante largos periodos de tiempo.

Una vez finalizado el programa de entrenamiento de fuerza, se realizará durante la semana posterior una valoración del deportista con las mismas características de la primera, con el propósito de analizar por un lado, las posibles mejoras en los niveles de fuerza, y por otro si esta mejora en dichos niveles, conlleva alguna mejora en la condición cardiorrespiratoria y en la economía de carrera.

Para el programa de entrenamiento, incluiremos los principales ejercicios que se han utilizado en la mayoría de los estudios analizados. Estos serán, por un lado, ejercicios monoarticulares del tren inferior en máquinas guiadas como el leg extensión, curl femoral sentado, etc. y, por otro lado, ejercicios multiarticulares con peso libre como la sentadilla, peso muerto, lunge, peso muerto a una pierna, etc. Además, se realizarán ejercicios basados en el ciclo de estiramiento acortamiento, como pueden ser 5 squat jumps, saltos en profundidad y saltos sucesivos entre vallas.

Además de los ejercicios anteriormente citados, proponemos añadir ejercicios de resistencia y estabilidad del tronco donde fortaleceremos abdominales, glúteos y lumbares, ya que juegan un papel determinante en la estabilización de los apoyos en la carrera a pie (Sato y Mokha, 2009), cobrando especial importancia en modalidades como las carreras de montaña donde estos apoyos se realizan en terreno irregular

A continuación, exponemos los diferentes tipos de entrenamientos de fuerza:

Entrenamiento de fuerza 1			
Ejercicios	Volumen (Series y Repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. Leg press	4× 10 repeticiones	75% 1RM	3' entre series
2. Leg extension	4× 10 repeticiones	75% 1RM	3' entre series
3. Hamstring nordic	4× 10 repeticiones	Peso corporal	3' entre series
4. Plancha frontal	2× 8 repeticiones de 8''	Peso corporal	4'' entre repeticiones, 1' entre series
5. Curl femoral sentado	4× 10 repeticiones	75% 1RM	3' entre series
6. Antirrotación con elásticos	4× 10 repeticiones por lado	Banda elástica	45'' entre series

Entrenamiento de fuerza 2			
Ejercicios	Volumen (Series y repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. Lunge con barra	4× 5/6 repeticiones por pierna	85% 1RM	3' entre series
2. Leg extension	4× 5/6 repeticiones	85% 1RM	3' entre series
3. Peso muerto a 1 pierna	4× 5/6 repeticiones por pierna	85% 1RM	3' entre series
4. Curl femoral sentado	4× 5/6 repeticiones	85 % 1RM	3' entre series
5. Mountain climbers	3× 20 repeticiones	Peso corporal	45'' entre series
6. Plancha frontal, pies en fitball, quitar pies alternos	3× 20 repeticiones	Peso corporal	45'' entre series

Entrenamiento del Core			
Ejercicios	Volumen (Series y repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. Plancha frontal	2× 8 repeticiones de 8''	Peso corporal	4'' entre repeticiones, 1' entre series

2. Antirrotación con gomas	6× 20 rep	Banda elástica	1' entre series
3. Mountain climbers	3× 20 repeticiones	Peso corporal	45'' entre series
4. Plancha frontal, pies en fitball, quitar pies alternos	3× 20 repeticiones	Peso corporal	45'' entre series

Entrenamiento de fuerza 3			
Ejercicios	Volumen (Series y repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. Sentadilla con barra	4× 5/6 repeticiones	85% 1RM	3' entre series
2. Saltos desde cajón con contramovimiento	4× 10 repeticiones	Peso corporal	1'30'' entre series
3. Peso muerto	4× 5/6 repeticiones	85% 1RM	3' entre series
4. Segundos de triple entre vallas	4× 12 saltos	Peso corporal	1'30'' entre series

Entrenamiento pliometría			
Ejercicios	Volumen (Series y repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. 5 squat jumps	4× 5 saltos ×3 repeticiones	Peso corporal	1'30'' entre series
2. Saltos entre vallas	4× 8 saltos ×6 repeticiones	Peso corporal	1'30'' entre series
3. Saltos en profundidad (40cm)	4× 8 saltos ×6 repeticiones	Peso corporal	1'30'' entre series
4. Segundos de triple con vallas pequeñas.	4× 8 saltos ×6 repeticiones	Peso corporal	1'30' entre series

Entrenamiento de fuerza-resistencia 1			
Ejercicios	Volumen (Series y repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. Leg press	6× 20 rep	45% 1RM	1' entre series
2. Curl femoral sentado	6× 20 rep	45% 1 RM	1' entre series

3. Sentadillas	6× 25 rep	Peso corporal	1' entre series
4. Squat jump	6× 15 rep	Peso corporal	1' entre series

Entrenamiento de fuerza-resistencia 2			
Ejercicios	Volumen (Series y repeticiones)	Intensidad	Descanso
1. Lunge	6× 15 rep (cada lado)	Peso corporal	1' entre series
2. Puente lumbar + quitar apoyos	6× 15 rep (cada lado)	Peso corporal	1' entre series
3. Leg extensión	6× 20 rep	45% 1RM	1' entre series
4. Sentadilla	6× 25 rep	Peso corporal	1' entre series
5. Subir y bajar escalón	6× 3'	Velocidad 60 BPM	1' entre series

A continuación, en la siguiente tabla, se establece el cronograma de cómo vamos a organizar los diferentes tipos de entrenamiento planteados.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Semana Pre-evaluación	Test CMJ		Test 1RM de los diversos ejercicios		Test de Bruce		
Semana 1-2		EF1		EF1			
Semana 3-4		EF2		EP			
Semana 5		EF3+EC		EF3+EC			
Semana 6		EP+EC		EF3+EC			
Semana 7	EFR1+EC			EFR1+EC			
Semana 8	EFR2+EC			EFR1+EC			
Semana 9	EFR2+EC			EFR2+EC			
Semana 10	EFR1			EFR2			
Semana Post-evaluación	Test CMJ		Test 1RM de los		Test de Bruce		

			diversos ejercicios				
--	--	--	---------------------	--	--	--	--

EC= Entrenamiento del core, EF1= Entrenamiento de fuerza 1, EF2= Entrenamiento de fuerza 2, EF3= Entrenamiento de fuerza 3, EP= Entrenamiento pliometría, EFR1= Entrenamiento fuerza-resistencia 1, EFR2= Entrenamiento de fuerza-resistencia 2.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687.
- Barnes, K., Hopkins, W., Mcguigan, M., Northuis, M., y Kilding, A. (2013). Effects of Resistance Training on Running Economy and Cross-country Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(12), 2322-2331
- Bassett, D. R., y Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance (2000). *Medicine Science in Sports Exercise*, 32(1), 70–84.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., y Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44(6), 845-865.
- Carter, H., Jones, A., Barstow, T., Burnley, M., Williams, C., y Doust, J. (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1744-1752.
- Conley, D., y Krahenbuhl, G. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 12(5), 357-360.
- Costill, D., Thomason, H., y Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 5(4), 248-252.
- Costill, D.L. (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 7(2):61-6.
- di Prampero, P., Atchou, G., Brückner, J., y Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(3), 259-266
- Doma, K., y Deakin, G. (2013). The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance. *Applied Physiology, Nutrition, And Metabolism*, 38(6), 651-656.
- Doma, K., y Deakin, G. (2015). The Acute Effect of Concurrent Training on Running Performance Over 6 Days. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(4), 387-396.
- Farrell, P.A., Wilmore, J.H., Coyle, E.F., Billing, J.E., Costil, l D.L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Sciencie in Sports*, 11(4):338-44.

- Ferrauti, A., Bergermann, M., y Fernandez-Fernandez, J. (2010). Effects of a Concurrent Strength and Endurance Training on Running Performance and Running Economy in Recreational Marathon Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2770-2778.
- Fletcher, J. R., Esau, S. P., y MacIntosh, B. R. (2009). Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, 107, 1918–22.
- Foster, C., y Lucia, A. (2007). Running economy: the forgotten factor in elite performance. *Sports Medicine*, 37(4–5), 316–9.
- 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.
- González-Badillo, J., y Ribas Serna, J. (2014). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: Inde.
- Guglielmo, L., Greco, C., y Denadai, B. (2008). Effects of Strength Training on Running Economy. *International Journal of Sports Medicine*, 30(01), 27-32.
- Hoff, J., Gran, A., Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12(5):288-95.
- Horowitz, J.F., Sidossis, L.S., Coyle, E.F. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports and Medicine*, 15(3):152-7.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E., Mognoni, P., y Sassi, A. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 747–751.
- Karasiak, F.C., Guglielmo, L.G.A. (2018). Effects of Exercise Induced Muscle Damage in Well-Trained Cyclists Aerobic and Anaerobic Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22
- Karol, L.A., Concha, M.C., y Johnston, C.E. (1997). Gait analysis and muscle strength in children with surgically treated clubfeet. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 17(6):790-5.
- LaFontaine, T.P., Londeree, B.R., Spath, W.K. (1981). The maximal steady state versus selected running events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13(3):190-3.
- Llopis, R., y Vilanova, A. (2015). Spain: a Sociological Analysis of the Evolution and Characteristics of Running. In J. Scheerder, K. Breedveld, y J. Borgers (Eds.), *Running across Europe. The Rise and Size of one of the Largest Sport Markets* (pp. 225-238).
- Marcello, R., Greer, B., y Greer, A. (2017). Acute Effects of Plyometric and Resistance Training on Running Economy in Trained Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(9), 2432-2437.
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T., y Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 28(7):602-11.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., y Nummela, A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular

performance in recreational endurance runners. *Journal of Sports Science*, 29(13):1359-71.

Millet, G.P., Jaouen, B., Borrani, F., Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8):1351-9.

Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, 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):1527-33.

Paavolainen, L., Nummela, A., y Rusko, H. (2000). Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scandinavian Journal of Medicine Science and Sports*, 10, 286-91

Saltin, B., y Astrand, P. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.

Sato, K., y Mokha, M. (2009). Does Core Strength Training Influence Running Kinetics, Lower-Extremity Stability, and 5000-m Performance in Runner. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 133-140.

Saunders, P., Pyne, D., Telford, R., y Hawley, J. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465-485.

Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Peltola, E.M., Cunningham, R.B., Gore, C.J., Hawley, J.A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4):947-54.

Sedano, S., Marín, P., Cuadrado, G., y Redondo, J. (2013). Concurrent Training in Elite Male Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2433-2443.

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.

Storen, O., Bratland-Sanda, S., Haave, M., y Helgerud, J. (2012). Improved VO₂max and time trial performance with more high aerobic intensity interval training and reduced training volume: a case study on an elite national cyclist. *Journal Strength and Conditioning Research*, 26(10):2705-11.

Storen, O., Helgerud, J., Stoa EM., y Hoff J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine Science Sports Exercise*, 40(6), 1087-1092.

Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J., y Häkkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *International Journal Sports Medicine*, 31(7), 468-476.

Taipale, R.S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A., y Häkkinen K. (2013). Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European Journal of Applied Physiology*, 113(2):325-35.

Tanaka, H., y Seals, D.R. (2008). Endurance exercise performance in Masters athletes: age-associated changes and underlying physiological mechanisms. *The journal of Physiology*, 586(1):55-63.

Tokmakidis, S. P., Leger, L. A., y Piliandis, T. C. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *European Journal of Applied Physiology Occupational Physiology*, 77, 333-342

Turner, A.M., Owings, M., Schwane, J.A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1):60-7.

Urbaneja, J., Yuba, E., Roca, V., y Torbidoni, E. (2018). Carreras (de o por) montaña o trail running. El reconocimiento de la modalidad deportiva: una visión jurídica. *Extraído de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5390990>*

Vikmoen, O., Raastad, T., Seynnes, O., Bergstrøm, K., Ellefsen, S., y Rønnestad, B. (2016). Effects of Heavy Strength Training on Running Performance and Determinants of Running Performance in Female Endurance Athletes. *PlosOne*, 11(3)

Vorup, J., Tybirk, J., Gunnarsson, T., Ravnholt, T., Dalsgaard, S., y Bangsbo, J. (2016). Effect of speed endurance and strength training on performance, running economy and muscular adaptations in endurance-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, 116(7), 1331-1341.

