

MÉTODOS DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN ATLETAS DE MEDIO FONDO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA
STRENGTH TRAINING METHODS IN MIDDLE-DISTANCE ATHLETES: A SYSTEMATIC REVIEW

Pablo Cristóbal-Blázquez¹

Universidad Europea del Atlántico, España

(pablo.cristobal@alumnos.uneatlantico.es) (<https://orcid.org/0009-0006-3669-4413>)

Florent Osmani

Universidad Europea del Atlántico, España

(florent.osmani@alumnos.uneatlantico.es) (<https://orcid.org/0000-0003-4822-0179>)

Carlos Lago-Fuentes

Universidad Europea del Atlántico, España

(carlos.lago@uneatlantico.es) (<https://orcid.org/0000-0003-4139-9911>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 19/10/2023

Revisado/Reviewed: 15/12/2023

Aceptado/Accepted: 13/12/2023

RESUMEN

Palabras clave:

corredores, resistencia, rendimiento, economía de carrera, máximo consumo de oxígeno.

El objetivo de esta revisión sistemática ha sido comparar los diferentes métodos de entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento en pruebas de entre 800 y 5000 m en atletismo, eventos caracterizados por altos requerimientos de capacidad aeróbica, de fuerza máxima y de potencia. La base de datos Pubmed fue empleada para buscar artículos originales acerca del entrenamiento de fuerza en medio fondistas. Para ello se introdujeron diferentes combinaciones de algunos términos como: "middle distance", "running performance", "VO2max", "running economy", "resistance training", "strength training", "concurrent training" y "plyometric training". Los artículos cuyas intervenciones fueron evaluadas con test de contrarreloj superiores a 5 km fueron excluidos. Inicialmente se recolectaron 298 artículos, de los cuales 9 fueron seleccionados atendiendo a los criterios de inclusión y exclusión. Tras un periodo de intervención con una duración de 6 a 12 semanas, en todos los artículos se observaron mejoras en parámetros fisiológicos y neuromusculares, a excepción de uno. En este estudio se apreció una tendencia a la mejora, aunque los cambios no fueron significativos. Los estudios que mayores mejoras obtuvieron, realizaron entrenamiento de fuerza con cargas del 70 % RM o superior. Además, este entrenamiento de fuerza fue combinado con ejercicios pliométricos realizados sin peso adicional o añadiendo un 30% del peso corporal. En conclusión, combinar el

¹ Autor de correspondencia.

entrenamiento de fuerza a una intensidad del 70%RM o superior a 4-10 repeticiones con entrenamiento pliométrico, parece ser el método más efectivo para optimizar el rendimiento en carreras de medio fondo

ABSTRACT

Keywords:

runners, endurance, performance, running economy, maximal oxygen consumption

The aim of this systematic review has been to compare different strength training methods to improve performance in events between 800 and 5000 m in athletics, events characterized by high requirements of aerobic capacity, maximal strength, and power. The Pubmed database was used to search for original articles about strength training in middle distance runners. For this purpose, different combinations of some terms such as "middle distance," "running performance," "VO₂max," "running economy," "resistance training," "strength training," "concurrent training," and "plyometric training" were introduced. Articles whose interventions were evaluated with time trials longer than 5 km were excluded. Initially, 298 articles were collected, of which 9 were selected according to the inclusion and exclusion criteria. After an intervention period lasting 6 to 12 weeks, improvements in physiological and neuromuscular parameters were observed in all but one of the articles. The studies that obtained the greatest improvements performed strength training with loads of 70% RM or higher. In addition, this strength training was combined with plyometric exercises performed without additional weight or by adding 30% of body weight. In conclusion, combining strength training at an intensity of 70% RM or higher at 4-10 repetitions with plyometric training appears to be the most effective method for optimizing performance in middle-distance running

Introducción

Dentro del amplio abanico de pruebas que se celebran en el atletismo, se encuentran las pruebas de 800 y 1500 metros lisos como las pruebas olímpicas pertenecientes al sector de medio fondo (Real Federación Española de Atletismo, 2020, Anexo 1). Por sus características fisiológicas, las pruebas de 3000 y 5000 metros lisos, podrían considerarse como media-larga distancia y asemejarse a las anteriormente mencionadas (Lacour et al., 1990). Esto es debido a que, en el caso de campeonatos nacionales e internacionales, donde los atletas disputan una medalla, la marca queda en un segundo plano. Por ello, los atletas emplean tácticas con cambios de ritmo y la última vuelta se corre a una velocidad entorno al 110% del VO₂max (Billat, 2001). De forma abreviada, el rendimiento en estas pruebas se da por la capacidad de recorrer la distancia requerida en el menor tiempo posible (Ramírez-Campillo et al., 2014). Por otro lado, Blagrove et al. (2018) definen el rendimiento de la carrera como una compleja interacción de factores fisiológicos, biomecánicos, psicológicos, ambientales y tácticos. La duración aproximada de estas pruebas según las marcas realizadas por la élite mundial en la temporada de aire libre de 2021, fue de 1'45" en 800 m, 3'30" en 1500 m, 8' en 3000 m y 13' en 5000 m (World Athletics, 2021). Vista la duración de estos eventos deportivos, García-Pallarés & Izquierdo (2011) afirman que estos requieren de altos niveles de la capacidad aeróbica, de fuerza máxima y de potencia.

En cuanto a la contribución energética por parte de los sistemas metabólicos, encontramos que en la prueba de los 800 m, el sistema aeróbico aporta desde un 60 hasta un 75% de la energía, mientras que el sistema anaeróbico aporta entre un 25 y un 40%. Esta gran variabilidad se debe a los diferentes tipos de atletas que corren esta prueba. Si hacemos referencia a los 1500 m, se sabe que el 75-85% de la energía se obtiene de forma aeróbica y el 15-25% de manera anaeróbica (Haugen et al. 2021). Por otro lado, en pruebas más largas como el 3000 y el 5000 m, el sistema aeróbico parece aportar entre un 85 y un 95% de la energía, siendo entre el 5 y 15% la contribución del sistema anaeróbico (Sandford & Stellingwerff, 2019).

A la hora de predecir el rendimiento en estas pruebas Haugen et al. (2021) sugieren atender a los parámetros de Consumo Máximo de Oxígeno (VO₂max), Economía de Carrera (RE), Velocidad del Umbral Anaeróbico (VAT) y Velocidad del VO₂max (vVO₂max). En los últimos años la RE está tomando un gran protagonismo a la hora de buscar el camino hacia la mejora del rendimiento. Esta se ve influenciada por factores biomecánicos, la distribución de fibras musculares, la edad, el sexo y factores antropométricos (Balsalobre-Fernández et al., 2016). Además, la RE se ve afectada por los diferentes trabajos de la fuerza: cargas bajas, cargas altas, fuerza explosiva y entrenamiento pliométrico. Estos diferentes entrenamientos de fuerza han demostrado mejorar el rendimiento tanto de atletas populares como atletas moderada y altamente entrenados (Balsalobre-Fernández et al., 2016). Por otro lado, gracias a investigaciones como la de Beattie et al. (2014) o la de Moore (2016) sabemos que tanto la RE como factores anaeróbicos, dependen de la generación de fuerza rápida durante la fase de contacto con el suelo.

Sin embargo, García-Pallarés & Izquierdo (2011) afirman que los beneficios que el entrenamiento de fuerza aporta al rendimiento de los atletas se producirán únicamente en el caso de que el plan de entrenamiento esté correctamente diseñado. En recientes estudios se detectó que cuando se comparaba un grupo que solo entrenaba fuerza y otro que realizaba entrenamiento concurrente, el primer grupo obtenía mayores ganancias de fuerza máxima. Esto se debía a que el segundo grupo sufría lo que hoy en día conocemos como fenómeno de interferencia. Sin embargo, diferentes estudios apuntan a que un protocolo de entrenamiento correctamente diseñado y ejecutado puede minimizar e incluso evitar este fenómeno. Esto resultará muy interesante en modalidades deportivas cíclicas cuya duración vaya desde los 30 segundos hasta los 8 minutos y sean necesarias altas demandas de fuerza y resistencia simultáneamente (García-Pallarés & Izquierdo, 2011).

Jiménez-Reyes & González-Badillo (2011) exponen que los tres elementos principales de la carga de entrenamiento de fuerza son el volumen, la intensidad y la frecuencia; a los que habría que añadir el ejercicio realizado. Una relación óptima de estas variables provocaría una adaptación en el atleta, que debería repercutir directamente en su rendimiento. Dicho esto, conocer la manera de estructurar el entrenamiento de fuerza dentro de un programa de entrenamiento de atletas de medio fondo correctamente, nos permitirá mejorar el rendimiento de los mismos minimizando o evitando el anteriormente mencionado fenómeno de interferencia.

La literatura científica afirma que el entrenamiento con cargas es una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento de la carrera. Sin embargo, no parece quedar muy claro cuáles son los mejores métodos para trabajar la fuerza y cómo modular los parámetros de la carga de este estímulo para conseguir los resultados más eficientes. Por otra parte, se encuentra evidencia acerca del trabajo de fuerza en velocistas y corredores de larga distancia, sin embargo, parece haber escasez de investigaciones en cuanto a corredores de media distancia. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es comparar los diferentes métodos de entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento en pruebas de entre 800 y 5000 m.

Método

Estrategia de búsqueda

Para la realización de esta revisión sistemática se ha realizado una búsqueda de artículos en la base de datos PubMed. Los principales términos empleados para la búsqueda de artículos fueron: “middle distance”, “running performance”, “VO₂max”, “running economy”, “resistance training”, “strength training”, “concurrent training” y “plyometric training”. Estos términos y otros fueron combinados con parámetros booleanos para realizar la búsqueda de la siguiente forma: (“middle distance” OR “800 meter” OR “1500 meter” OR “3 km”) AND (“running performance” OR “running economy” OR “vVO₂max” OR “VO₂max speed” OR “maximal oxygen intake”) AND (“resistance training” OR “strength training” OR “plyometric training” OR “concurrent training”) AND (“interference phenomenon”). Además, se añadió el parámetro booleano NOT para excluir los términos “marathon” y “ultra-endurance”.

Criterios de inclusión

En esta revisión sistemática se incluyeron artículos relacionados con las modalidades de medio fondo hasta 5 km en atletismo, que estuvieran escritos tanto en lengua castellana como inglesa. Los artículos cuyas pruebas de evaluación incluyeran test contrarreloj de distancias entre 800 y 5000 metros fueron incluidos. Por otro lado, artículos cuyas evaluaciones contuviesen test de laboratorio para valorar parámetros fisiológicos y biomecánicos (VO2max, RE, RFD, etc.) directamente relacionados con pruebas de media distancia también fueron incluidos. Además, no se impuso ningún límite en cuanto a la fecha de redacción del artículo.

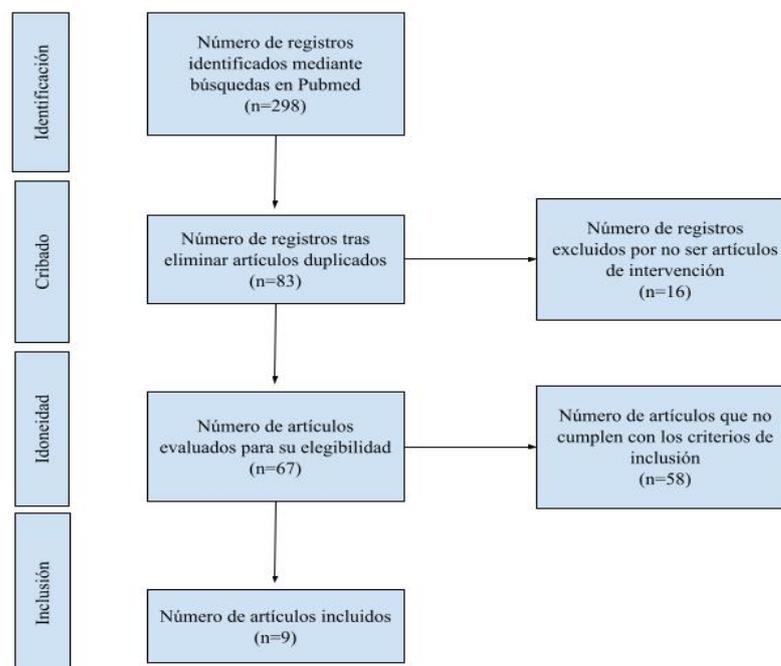
Criterios de exclusión

Los artículos cuyas investigaciones estaban enfocadas a atletas velocistas (corredores de 400 m o menos) o fondistas (corredores de distancias superiores a 5 km) fueron excluidos. Los artículos cuyas pruebas de evaluación post-intervención incluyeran test de contrarreloj superiores a 5 km fueron descartados. Incluye diseño, participantes, instrumento, análisis de datos, etc.

Resultados

A continuación, se presenta en la Figura 1 el diagrama de flujo que representa el proceso de selección de los artículos. Se inició la búsqueda de artículos identificando 298 estudios y finalmente, 9 fueron incluidos en la revisión.

Figura 1
Diagrama de flujo de selección de artículos



En la Tabla 1 se exponen las diferentes variables y resultados de los estudios seleccionados. Por un lado, aparecen las variables relacionadas con los sujetos y por otro las relacionadas con la intervención realizada.

En la **Tabla 1** se muestra el resumen de los resultados de los artículos seleccionados:

Tabla 1

Características de los estudios, sus participantes y programas de entrenamiento

Estudio	Sujetos			Investigación							
	n y Sexo	Edad (años)	Experiencia y características	Diseño de grupos	Programa	Duración	Entrenamiento	Intensidad	Entrenamiento de carrera	Test de evaluación	Resultados
García-Pinillos et al. (2020)	51 H + 45 M (27+24 IG / 24-21 CG)	Rango entre 18 - 40	Corredores recreacionales (3-5 sesiones de carrera a la semana). Capaces de correr 10 km en <50'.	Aleatorios	Pliometría (salto a la comba)	10 semanas 2-4 veces/semana 10-20'/semana	5' de salto a la comba en el calentamiento de cada sesión.	Progresión semanal, iniciando con 30":30" (trabajo:descanso) bilateral y finalizando con 40":20" unilateral-alterno.	Entrenamiento habitual. El IG modificó su rutina de calentamiento para introducir los saltos a la comba. 42,1 ± 6,5 km/semana	Stiffness CMJ Squat Jump Drop Jump Reactive Strength Index 3-km test	Mejoras significativas del IG en todas las variables testadas, mientras que el CG no mejoró significativamente.
Mikkola et al. (2007)	18 H + 7 M (9+4 IG / 9+3 CG)	Rango entre 16-18	Fondistas pospúberes con mínimo 2 años de experiencia de entrenamiento de carrera de fondo.	División no aleatoria de los grupos.	Entrenamiento de fuerza explosiva	8 semanas 3 sesiones/semana 30-60' /sesión	Sprint: 5-10x30-150m Jump: alternative jumps, calf jumps, squat jumps, hurdle jumps Resistance: half squat, knee extension-flexion, calf raises, abd curls, back extensions (2-3 sets x 6-10 reps)	Cargas bajas. Máxima velocidad de ejecución.	8,8 ± 2,1 h 12,4 ± 3,0 sesiones/semana >95% <LT El IG intercambió el 19% de las horas de carrera por entrenamiento de fuerza explosiva.	Mediciones de fuerza muscular VMART (9-10x150m) 30m Sprint 5J + CMJ Parámetros aeróbicos	Mejora del IG en VMART y test de 30m. Mejoras de fuerza en el IG. Parámetros aeróbicos =

Paavolainen et al. (1999)	18 H (10 IG / 8 CG)	23 ± 3 (IG)	Corredores de élite de orientación en campo a través. VO2max (63,3 ± 2,1)	Selección de grupos en función del VO2max y el tiempo de la prueba de 5 km.	Entrenamiento de fuerza explosiva	9 semanas 2,7 h/semana en sesiones de 15-90'	Sprint: 5-10x20-100m PT: saltos alternativos, CMJ, aterrizaje, saltos de vallas, 5-JUMP TEST a una pierna. (30-200 saltos) RT: leg-press, knee extensor-flexor (5-20 reps.)	0-40% RM Máxima velocidad de ejecución.	8,4 ± 1,7h 9 ± 2 sesiones/semana 84% <LT y 16% >LT El IG intercambió el 32% de las horas de carrera por EST.	Test de 5 km RE VO2max Test VMART 20m Sprint 5-Jump Test VO2MAX y LT	Mejoras en el test de 5 km y valores de RE y VMART por parte del IG. Mejoras en el test de 20m y 5-Jump test en el IG mientras que el CG empeoró. VO2max =
Ramírez-Campillo et al. (2014)	22 H + 14 M (10+8 IG / 12+6 CG)	22,1 ± 2,7	>2 años de experiencia en competiciones nacionales e internacionales. 1500m MMP = 3'50" (H) - 4'27" (M) Maratón MMP = 2:32 (H) - 2:52 (M)	Aleatorios	Pliometría	6 semanas 2 sesiones/semana < 30'/sesión	2x10 Drop Jumps 20cm 2x10 Drop Jumps 40cm 2x10 Drop Jumps 60cm	Peso corporal. Máxima intencionalidad y mínimo contacto.	67,2 ± 18,9 km/semana	CMJ + DJ 20m Sprint 2,4 km test	El IG mejoró significativamente los tiempos de las pruebas de 2,4 km y 20m y los valores de CMJ y DJ en comparación con el CG.
Saunders et al. (2006)	15 H (7 IG / 8 CG)	23,4 ± 3,2 (IG)	Atletas de fondo altamente entrenados de nivel nacional y 6 internacional. Marca en 3 km = 8,5 ± 0,4 min. VO2max (71,1 ± 6,0 ml/min/kg)	Aleatorios	Pliometría + Entrenamiento de fuerza	9 semanas 3x30' /semana	Back extension, Leg press, CMJ, Knee lifts (technical), Ankle jumps, Hamstring curls, Alternate-leg bounds, Skip for height, Single-leg ankle jumps, Hurdle jumps, Scissor jumps for height	Pliometría: 0 Entrenamiento de fuerza: 60%RM	107 ± 43 km/semana 3 sesiones de interval 1 rodaje de 60-150' 3 rodajes de 30-60' 3-6 rodajes de 20-40'	RE VO2max 5-CMJ RFD	Mejoras no significativas en RE, aunque tendencia a mejora en el IG. VO2max = Datos de fuerza muscular =
Sedano et al. (2013)	18 H (6 EG / 6 SG / 6 ESG)	23,7 ± 1,2	Atletas (3000-5000 m) entrenados con un VO2max >65 y más de 4 años de entrenamiento. Competidores de nivel nacional en España.	Aleatorios	Fuerza Pliometría Fuerza-Resistencia	12 semanas 2 sesiones/semana	ST: Barbell Squat, Lying leg curl, Seated calf raises y Leg extension PT: salto de vallas (40 cm) y saltos horizontales	3x7 70%RM + 3x10 PLYO (SG) 3x20 40%RM (ESG)	6 sesiones/semana Rodajes y fartleks de 0,5-1,5h Entrenamiento de series	CMJ 25" Hopping test 1RM RE VO2max 3-km test	SG obtuvo mejoras en todos los tests

Métodos de entrenamiento de fuerza en atletas de medio fondo. Una revisión sistemática

Spurrs et al. (2003)	17 H (8 IG / 9 CG)	25 ± 4	Historial de entrenamiento de 10 ± 6 años.	Aleatorios	Pliometría	6 semanas 2-3 sesiones/semana	Squat Jump, Split Scissor Jump, Double Leg Bound, Alternate leg bound, Single Leg forward hop, Depth Jump, Double leg hurdle jump, single leg hurdle hop	Progresión de 60 a 180 contactos por semana. Peso corporal. Máxima intencionalidad y mínimo contacto.	Entrenamiento habitual. 60-80 km/semana	RE VO2max Umbral Láctico Parámetros de fuerza CMJ 5-Bound Test 3-km test	El IG mejoró los valores del test de 3 km, RE, CMJ, 5-bound test y parámetros de fuerza. VO2max y LT = No se apreciaron cambios en el CG.
Støren et al. (2008)	9 H + 8 M (4+4 IG / 5+4 CG)	28,6 ± 10,1 (IG)	Atletas entrenados VO2max 61,4 ± 5,1 Marca en 5-km= 1122,4 ± 5 8,4	División en función de la edad y marca de 5 km, aleatorizada.	Entrenamiento de fuerza máxima	8 semanas 3 sesiones/semana	4x4 Media Sentadilla	4RM	Entrenamiento habitual de resistencia	RE VO2max MAS 1RM Media Sentadilla RFD	Mejoras del IG en los test de RM, RFD, RE y MAS. VO2max =
Trowell et al. (2022)	18 H +12 M (9+6 IG / 9+6 CG)	33,1 ± 7,5 (IG)	Corredores moderadamente entrenados. >30km/semana	Aleatorio	Pliometría + Entrenamiento de fuerza	10 semanas 2 sesiones/semana	Ankle bouncing, Back Squat, Hurdle Jumps (40 cm), Frontal Plank, High-knee drill, Single-leg deadlift, Split Squat Jump, Side-Stepping, CMJ, DJ, Glute Bridge	ST: 70%RM, 10 reps. PLYO: peso corporal o 30%BW	Entrenamiento habitual de resistencia	2-km test Time to exhaustion VO2max RE	Mejora en el tiempo del test de 2-km y "time to exhaustion" en el test de VO2max. VO2max = RE =

Nota. H/M = hombres/mujeres, IG/CG = intervention/control group, CMJ = countermovement jump, DJ = drop jump, 5J = 5-jump test, RM = repetición máxima, RFD = rate of force development, RE = running economy, VO2max = consumo máximo de oxígeno, LT = lactic threshold, MAS = maximal aerobic speed, VMART = velocidad de maximal anaerobic running test, ST = strength training, RT = resistance training, PT = plyometric training, EST = explosive strength training, EG = endurance-only group, ESG = endurance-strength group, SG = strength group, MMP = mejor marca personal, BW = body weight, (=) = no hubo variación significativa de los valores

Discusión y conclusiones

El objetivo de esta revisión sistemática ha sido comparar los efectos que los diferentes métodos de entrenamiento de fuerza provocaron en el rendimiento de atletas, tanto de alto nivel, como recreacionales en pruebas de media distancia. Para comprobar el efecto de estos programas sobre el rendimiento, se han empleado diferentes tipos de valoraciones. Por un lado, encontramos las de carácter fisiológico, que evaluaron predictores del rendimiento como el RE, el VO₂max o el LT (Brandon, 1995). Otras valoraciones, midieron parámetros neuromusculares, altamente relacionadas con el rendimiento deportivo como es el caso del CMJ (Aragón-Vargas & Gross, 1997) y otras habilidades de salto, también relacionadas con el rendimiento en pruebas de 800m, 3000m y 5000m (Hudgins et al., 2013). En cuanto a la fuerza, los test más destacables que se han utilizado son el 1RM de diferentes ejercicios y el RFD, ambos altamente relacionados con la mejora del RE (Hoff & Helgerud, 2003). Por último, de forma más directa y semejante a la realidad competitiva, también se realizaron test de contrarreloj de distancias desde 2,4 km hasta 5 km. Entendiendo el rendimiento deportivo como una compleja interacción de factores (Blagrove et al., 2018), los estudios previamente analizados, han comparado una mezcla de los anteriormente descritos.

En el caso de los artículos analizados, se observó que principalmente fueron aplicados 3 tipos de programas: entrenamiento de pliometría, entrenamiento de fuerza (con diferentes intensidades) y entrenamiento de pliometría y fuerza conjuntamente. En cuanto a aquellos que utilizaron la pliometría únicamente, en los estudios de García-Pinillos et al. (2020) y Ramírez-Campillo et al. (2014), se observaron mejoras significativas en valoraciones neuromusculares, habilidad de saltos y tiempos de contrarreloj. Además de estas mejoras respecto a los grupos de control, en la intervención de Spurrs et al. (2003) se mejoraron los valores de RE sin variar parámetros de VO₂max y LT. Esta mejora fue causada por un incremento en el stiffness músculo-tendinoso de los miembros inferiores, que aumenta la fuerza reactiva y disminuye el coste energético (Spurrs et al., 2003). El único programa que incluyó entrenamiento de fuerza únicamente, fue el de Støren et al. (2008). En este estudio que implementó un trabajo de fuerza máxima, se consiguieron mejoras similares a las obtenidas por los programas de pliometría, mejorando el RFD, el RM, el CMJ y valores aeróbicos, manteniendo los valores pre-test en VO₂max. De nuevo, esto sugiere una relación entre el RFD de la musculatura implicada en la carrera y el RE (Støren et al., 2008). Finalmente, el resto de intervenciones combinaron pliometría con entrenamiento de fuerza a diferentes intensidades. En el caso de Mikkola et al. (2007), Paavolainen et al. (1999), Sedano et al. (2013) y Trowell et al. (2022), los participantes mejoraron en parámetros neuromusculares, test anaeróbicos (VMART) y tiempos de contrarreloj, manteniendo de nuevo los datos iniciales de VO₂max. Sin embargo, en el estudio de Saunders et al. (2006), no se apreciaron mejoras significativas combinando pliometría y fuerza, aunque sí se observó una tendencia a mejorar el RE. Esto parece deberse a que atletas de alto nivel requerirán periodos más largos de entrenamiento y/o cargas más elevadas en cuanto a intensidad para observar mejoras significativas.

Atendiendo a parámetros de la carga como la intensidad y el volumen de los ejercicios propuestos por los estudios, se observaron desde intervenciones que únicamente utilizaron el peso corporal, hasta otras que se acercaron a la máxima carga externa para realizar los ejercicios. Casi todos los estudios que incluyeron saltos y otros ejercicios pliométricos utilizaron únicamente el peso corporal, sin embargo, existe una progresión de la carga en cuanto a volumen (número de contactos) y densidad en el caso

de los artículos de Spurrs et al. (2003) y García-Pinillos et al. (2020). El único estudio que utilizó carga externa en ejercicios pliométricos fue el de Trowell et al. (2022), donde se llegó a cargar con el 30% del peso corporal en CMJ, DJ y Split Squat Jump. En el caso de la intervención de Ramírez-Campillo et al. (2014) también se produce una variación de intensidad, pasando por 20, 40 y finalmente 60 cm en la altura desde la cual se realizaba el DJ. Por otra parte, los estudios de Mikkola et al. (2007) y Paavolainen et al. (1999), optan por realizar ejercicios de fuerza con cargas bajas a máxima velocidad, combinándolos con pliometría con el propio peso corporal y sprints de 20 a 150 m. Mientras que los participantes en los estudios de Saunders et al. (2006), Sedano et al. (2013) y Trowell et al. (2022), utilizaron cargas del 60% en el primer estudio y 70% del RM en los dos últimos, obteniendo mejoras superiores el grupo que trabajó con un RM superior. En otro lado, el protocolo que mayor % de RM propuso para su entrenamiento de fuerza fue el de Støren et al. (2008), donde los sujetos aumentaban su carga 2,5 kg en el caso de poder realizar una repetición más de la programada, lo que indica que su entrenamiento era de máxima intensidad con pocas repeticiones. Por lo tanto, indistintamente del % de RM utilizado, todos los sujetos mejoraron sus valores previos a la intervención. Sin embargo, atendiendo al estudio de Sedano et al. (2013) parece ser más efectivo trabajar con un % de RM moderado-alto, en este caso del 70% para optimizar el rendimiento si se compara con una intensidad del 40%. Finalmente, la intervención de mayor duración fue la de Sedano et al. (2013) con un total de 12 semanas con una frecuencia de 2 sesiones semanales. Por el contrario, los estudios de menor duración fueron de 6 semanas con una frecuencia de 2 y 2 o 3 sesiones semanales en el caso de Ramírez-Campillo et al. (2014) y Spurrs et al. (2003) respectivamente. Esto sugiere que la duración mínima para observar mejoras en el rendimiento fue 6 semanas, donde se realizaron 2 sesiones de pliometría semanales.

Antes de sacar conclusiones, es necesario observar las características de los sujetos que participaron en los estudios, ya que hay una gran diversidad. En primer lugar, destaca el estudio de Saunders et al. (2006), ya que es el único donde las mejoras no fueron significativas. Posiblemente para una muestra de atletas altamente entrenados y con un nivel nacional e internacional, se necesiten más de 9 semanas para que la mejora sea significativa. Además, es posible que la intensidad (60% RM) no fuera la suficiente, comparándolo con el estudio de Sedano et al. (2013), donde a pesar de que los sujetos tenían un nivel competitivo nacional, el grupo que trabajó al 70% RM durante 12 semanas, obtuvo mayores mejoras en comparación al resto. Por otro lado, en el estudio de Ramírez-Campillo et al. (2014) también se mejoró el rendimiento de atletas de elevado nivel en menor tiempo (6 semanas) pero sí que empleó una progresión de cargas triplicando la intensidad de la pliometría, pasando de 20 a 60 cm en la altura del DJ. Por el contrario, parece que una baja intensidad es suficiente en el caso de sujetos recreacionales (García-Pinillos et al., 2020) y sujetos adolescentes (Mikkola et al., 2007). Esto sugiere la necesidad de ajustar tanto la duración del periodo de entrenamiento como la intensidad y otros parámetros de la carga, en función del nivel de los sujetos, ya que a menor nivel menor será el estímulo necesario para producir adaptaciones y viceversa.

Las principales limitaciones de la presente revisión sistemática están relacionadas con el número de estudios analizados y las características de la muestra de estos. A pesar de que existe una gran cantidad de artículos que relacionan el entrenamiento de fuerza con la mejora del rendimiento deportivo, la disponibilidad de estudios que comparen programas de entrenamiento de fuerza con el rendimiento en pruebas de medio fondo es muy limitada. Por otro lado, la mayoría de estudios utilizan una muestra cuya especialidad dentro del medio fondo se inclina hacia pruebas más largas como el 3000m y el 5000m,

habiendo una nula existencia de intervenciones que demuestren la validez de estos programas para mejorar el rendimiento en pruebas de 800m. Por último, destacar que la mayoría de los estudios muestran una baja validez ecológica, ya que miden el rendimiento a través de test de laboratorio que suponen un altísimo coste y a los cuales la mayoría de entrenadores no pueden acceder.

El principal objetivo de esta revisión sistemática fue comparar los diferentes programas de entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento en pruebas de medio fondo en atletismo. Parece ser que el entrenamiento de fuerza combinado con pliometría es el que mayores mejoras en el rendimiento en carrera produce. Los parámetros de la carga siempre han de ser individualizados en función de las características de cada sujeto, sin embargo, a continuación, se describen algunas directrices para optimizar la programación del entrenamiento. Esta revisión sugiere utilizar un porcentaje igual o superior al 70% RM para trabajar la fuerza con 2 a 4 series de 4 a 10 repeticiones. En cuanto a la pliometría, se propone aumentar la carga externa progresivamente. Este aumento de carga puede generarse al variar cualquier variable relacionada a la carga externa como altura, número o lastre en los saltos. Sin embargo, en sujetos de nivel medio-bajo, un entrenamiento de fuerza y/o pliometría de menor intensidad podría ser suficiente para generar adaptaciones que optimicen el rendimiento deportivo. Finalmente, más investigaciones son necesarias para reafirmar estas conclusiones.

Referencias

- Aragón-Vargas, L. F. & Gross, M. M. (1997). Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals. *Journal of applied Biomechanics*, 13(1), 24-44.
- Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J. & Grivas, G. V. (2016). Effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30, 2361–2368. <https://journals.lww.com/nsca-jscr>
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M. & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports medicine*, 44(6), 845–865. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0157-y>
- Billat L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports medicine*, 31(2), 75–90. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131020-00001>
- Blagrove, R. C., Howatson, G. & Hayes, P. R. (2018). Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review. *Sports medicine* 48(5), 1117–1149. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0835-7>
- Brandon L. J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 19(4), 268–277. <https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00004>
- García-Pallarés, J. & Izquierdo, M. (2011). Strategies to Optimize Concurrent Training of Strength and Aerobic Fitness for Rowing and Canoeing. *Sports Medicine*, 41(4), 329–343. <https://doi.org/10.2165/11539690-000000000-00000>
- García-Pinillos, F., Lago-Fuentes, C., Latorre-Román, P. A., Pantoja-Vallejo, A. & Ramirez-Campillo, R. (2020). Jump-Rope Training: Improved 3-km Time-Trial Performance

- in Endurance Runners via Enhanced Lower-Limb Reactivity and Foot-Arch Stiffness. *International journal of sports physiology and performance*, 12, 1–7. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0529>
- Haugen, T., Sandbakk, Ø., Enoksen, E., Seiler, S. & Tønnessen, E. (2021). Crossing the Golden Training Divide: The Science and Practice of Training World-Class 800- and 1500-m Runners. *Sports Medicine*, 51(9), 1835–1854. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01481-2>
- Hoff J. & Helgerud J. (2003). Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance en J. Hoff & J. Helgerud (Ed.), *Football (Soccer). New Developments in Physical Training Research* (pp. 37-53). Norwegian University of Science and Technology.
- Hudgins, B., Scharfenberg, J., Triplett, N. T. & McBride, J. M. (2013). Relationship between jumping ability and running performance in events of varying distance. *Journal of strength and conditioning research*, 27(3), 563–567. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827e136f>
- Jiménez-Reyes, P. & González-Badillo, J. (2011). Monitoring training load through the CMJ in sprints and jump events for optimizing performance in athletics. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 18, 207-217. <https://doi.org/10.12800/ccd.v6i18.48>
- Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J. C. & Dormois, D. (1990). The energetics of middle-distance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(1), 38–43. <https://doi.org/10.1007/BF00572183>
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T. & 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), 602–611. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964849>
- Moore I. S. (2016). Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports medicine*, 46(6), 793–807. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0474-4>
- 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), 1527–1533. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527>
- Ramírez-Campillo, R., Alvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Baez, E. B., Martínez, C., Andrade, D. C. & Izquierdo, M. (2014). Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle- and long-distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 28(1), 97–104. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f44c>
- Real Federación Española de Atletismo [RFEA]. Anexo 1. 1 de enero de 2020 (España). https://www.rfea.es/normas/pdf/reglamento2021/05_ReglamentoCompeticion.pdf
- Sandford, G. N. & Stellingwerff, T. (2019). Question your categories: the misunderstood complexity of middle-distance running profiles with implications for research methods and application. *Frontiers in sports and active living*, 1, 28. <https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00028>
- 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), 947–954. <https://doi.org/10.1519/R-18235.1>

- Sedano, S., Marín, P. J., Cuadrado, G. & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *Journal of strength and conditioning research*, 27(9), 2433–2443. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318280cc26>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0741-y>
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M. & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087–1092. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318168da2f>
- Trowell, D., Fox, A., Saunders, N., Vicenzino, B. & Bonacci, J. (2022). Effect of concurrent strength and endurance training on run performance and biomechanics: A randomized controlled trial. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 32(3), 543–558. <https://doi.org/10.1111/sms.14092>
- World Athletics. (s.f). *Top Lists Senior Outdoor 2021 800 Meter Men*. Consultado el 13 de diciembre de 2021. <https://www.worldathletics.org/records/toplists/middlelong/800-metres/outdoor/men/senior/2021>