

Article

Entrenamiento de la Fuerza para Rendimientos de Media y Larga Distancia: Un Meta-análisis

Nicolas Berryman^{1,2}, Inigo Mujika^{3,4}, Denis Arvisais⁵, Marie Roubeix⁶, Carl Binet⁶ y Laurent Bosquet^{5,6}

¹Department of Sports Studies, Bishop's University, 2600 College, Sherbrooke (Qc), Canada J1M 1Z7

²Institut national du sport du Québec, 4141 Pierre de Coubertin, Montréal (Qc), Canada H1V 3N7

³Department of Physiology, Faculty of Medicine and Odontology, University of the Basque Country, Leioa, Basque Country

⁴Exercise Science Laboratory, School of Kinesiology, Faculty of Medicine, Finis Terrae University, Santiago, Chile

⁵Département de kinésiologie, Université de Montréal, 2100 Edouard Montpetit, Montréal (Qc) Canada H3T 1J4

⁶Faculté des Sciences du Sport, Laboratoire MOVE (EA 3813), Université de Poitiers, 8 Jean Monnet, 86000 Poitiers France

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos netos del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de media y larga distancia a través de un meta-análisis de la literatura disponible. **Métodos:** Se realizaron búsquedas en tres bases de datos, y a partir de las mismas se estableció que 28 de 554 potenciales estudios cumplían con todos los criterios de inclusión. Se calcularon las diferencias de medias estandarizadas (SMD) y las mismas fueron ponderadas por la inversa de la varianza para calcular el efecto global y su intervalo de confianza (IC) del 95%. Se realizaron análisis de subgrupos para determinar si la intensidad, duración y frecuencia del entrenamiento de la fuerza, el nivel de rendimiento, la edad, el sexo y el deporte de la población en estudio eran variables que podían influir en la magnitud del efecto. **Resultados:** La implementación de un mesociclo de entrenamiento para la fuerza en carrera (running), ciclismo, esquí de fondo y natación se asoció con mejoras moderadas en el rendimiento de media y larga distancia [SMD neta (IC del 95%) = 0,52 (0,33 a 0,70)]. Estos resultados se asociaron con mejoras en el costo energético de la locomoción [SMD neta (IC del 95%) = 0,65 (0,32 a 0,98)], fuerza máxima [SMD neta (IC del 95%) = 0,99 (0,80 a 1,18)] y potencia máxima [SMD neta (IC del 95%) = 0,50 (0,34 a 0,67)]. El entrenamiento de la fuerza máxima produjo mayores mejoras que otras intensidades. Los análisis de subgrupos también revelaron que los efectos beneficiosos sobre el rendimiento eran consistentes independientemente del nivel de los atletas. **Conclusión:** En conjunto, estos resultados aportan un marco que apoya la implementación de entrenamiento de fuerza además de entrenamiento tradicional específico para mejorar el rendimiento de media y larga distancia, principalmente a través de mejoras en el costo energético de la locomoción, la potencia máxima y la fuerza máxima.

Palabras Clave: Entrenamiento concurrente, resistencia, carrera (running), natación, ciclismo, esquí de fondo

INTRODUCCIÓN

Está ampliamente establecido que el consumo máximo de oxígeno (VO₂máx.), el costo energético de la locomoción (EC) y la resistencia aeróbica (AE) son factores fundamentales para el rendimiento de fondo y medio fondo (1). En conjunto, estos

factores explicaron el 72% de la variabilidad de rendimiento que se observó en 36 corredores que participaron en el maratón de Ginebra de 1983 (2). Los atletas involucrados en competiciones de media y larga distancia han entrenado y mejorado estos factores determinantes del rendimiento de manera tradicional, a través de métodos continuos de baja a moderada intensidad y de métodos intermitentes de alta intensidad, también llamados entrenamientos aeróbicos porque frecuentemente la intensidad se describe como porcentaje de VO_{2max} o % de la frecuencia cardíaca máxima (3, 4). Sin embargo, en los últimos años, ha surgido evidencia convincente que indica que el entrenamiento de la fuerza también puede tener un impacto positivo en el rendimiento de media y larga distancia (carrera, ciclismo, esquí de fondo) y en sus determinantes clave para diferentes niveles competitivos (5-7). Concretamente, la incorporación de un protocolo de entrenamiento de fuerza al programa de entrenamiento de resistencia en curso podría representar un método ventajoso para mejorar el costo energético (EC) (8-10). Además de estos beneficios, también se observaron mejoras en la resistencia aeróbica (AE) (5).

Sin embargo, este método de entrenamiento es algo contradictorio. De hecho, la fuerza y los eventos de larga distancia se ubican en los extremos opuestos de un continuo de duración de rendimiento/metabolismo energético (11), lo que podría proporcionar cierto sustento contra la idea de que atletas de media y larga distancia implementen el entrenamiento de fuerza. La observación de que la hipertrofia muscular resultante de una intervención de entrenamiento de la fuerza estaba asociada con una disminución en la densidad y la distribución de las mitocondrias en las fibras musculares (12) podría, al menos parcialmente, apoyar tal argumento. Es importante destacar que cuando en un mesociclo se realizan simultáneamente entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico (es decir, un bloque de entrenamiento con un propósito de entrenamiento específico, que suele durar alrededor de 3-6 semanas), no se observan efectos perjudiciales en el VO_{2max} en comparación con un entrenamiento aeróbico sólo. Además, los potenciales efectos negativos de la hipertrofia muscular sobre el rendimiento aeróbico podrían ser evitados conceptualmente si el enfoque de las intervenciones de entrenamiento de la fuerza está orientado hacia adaptaciones centrales (neurales) (14, 15). Por otra parte, recientemente se sugirió que, junto con una mejor función neural los cambios periféricos tales como un cambio en la distribución de las fibras musculares (de fibras de contracción rápida tipo IIB hacia fibras resistentes a la fatiga tipo IIA) y el aumento en la rigidez músculo-tendón podrían explicar los efectos positivos del entrenamiento concurrente de fuerza y aeróbico en el rendimiento de media y larga distancia (16).

Por otra parte, no todos los estudios coinciden en los efectos positivos del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de media y larga distancia (17, 18). Tales discrepancias pueden estar relacionadas con el hecho de que se emplearon diferentes estrategias de entrenamiento para la fuerza en diferentes disciplinas deportivas. Además de esta observación, los antecedentes de entrenamiento de los atletas, la modalidad de entrenamiento aeróbico y la duración de la intervención podrían ser variables importantes que permitirían explicar las diferencias que se observan en estudios sobre entrenamiento de fuerza y aeróbico combinados (19) Teniendo en cuenta estos aspectos metodológicos, es difícil proporcionar recomendaciones de entrenamiento discretas y específicas.

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos netos del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de fondo y medio fondo (es decir, eventos deportivos y/o pruebas de rendimiento con una duración superior a 75 s) a través de un meta-análisis de la literatura disponible. También se realizaron análisis de subgrupos para determinar si la carga de entrenamiento de fuerza (es decir, intensidad, duración y frecuencia) y otros moderadores relativos a las características de la población (nivel de rendimiento, edad, sexo y disciplina deportiva) pueden ser tomados como variables que pueden influir en la magnitud del efecto. Planteamos la hipótesis que el entrenamiento de la fuerza provocará un mayor aumento en el rendimiento de media y larga distancia que el producido por el entrenamiento aeróbico específico del deporte. Además planteamos la hipótesis que los aumentos en el rendimiento estarían asociados con mejoras en el costo energético (EC) y en la resistencia aeróbica (AE), y que el VO_{2max} no cambiaría.

MÉTODOS

Estrategia de búsqueda en la literatura

Se realizaron búsquedas en las bases de datos *Scopus* (1970 al 7 de diciembre de 2015), *SportDiscus* de publicaciones completas (1975 a 7 de diciembre de 2015) y *Web of Science* (1945 a 7 de diciembre de 2015) de los términos [TEMA: "entrenamiento de fuerza" o "entrenamiento de sobrecarga" o "entrenamiento de la potencia" o "entrenamiento pliométrico" o "entrenamiento concurrente" o "entrenamiento combinado de fuerza y resistencia" o "entrenamiento concurrente de sobrecarga y resistencia"] y TEMA: "costo energético" o "costo calórico" "costo metabólico" o "eficiencia mecánica" o "consumo de oxígeno máximo" o "ingesta máxima de oxígeno" o " VO_{2max} " o "potencia aeróbica" o "capacidad aeróbica" o "resistencia aeróbica" o "rendimiento de resistencia" o "rendimiento cardiovascular" o "umbral del lactato" o "umbral anaeróbico" o "rendimiento en carrera" o "economía de la carrera" o "tiempo de carrera" o "velocidad de carrera"

o "costo energético de la carrera" "eficiencia de la carrera" o "resistencia en la carrera" o "resistencia en ciclismo" e "economía de ciclismo" o "rendimiento en ciclismo") y TEMA: (locomoción o carrera o ciclismo o "esquí de fondo" o maratón o triatlón o natación o remo o fútbol o biatlón)] en artículos publicados en inglés y en francés. Las listas de referencias de los artículos obtenidos se registraron manualmente para obtener estudios adicionales no identificados electrónicamente.

Criterios de selección

Los estudios eran elegibles para inclusión si: 1) implementaban una intervención de entrenamiento de la fuerza además del régimen de entrenamiento aeróbico específico del deporte, 2) el resultado incluía pruebas y medidas de rendimiento, aptitud muscular y aptitud aeróbica en personas sanas; informaba la cantidad de participantes y todos los datos necesarios para calcular el tamaño del efecto, y 4) los rendimientos de media y larga distancia (pruebas contrarreloj, tests de duración constante o tests de tiempo hasta el agotamiento) debían tener una duración superior a 75 segundos, ya que la contribución de la vía aeróbica luego se considera predominante (20). Se excluyeron los estudios si: 1) presentaban resultados informados en una publicación anterior, 2) el artículo era una revisión de la literatura, 3) presentaban datos sólo para los pacientes sintomáticos, 4) el programa de entrenamiento era inadecuado (por ejemplo, sólo entrenamiento de fuerza, estudios de sobre entrenamiento, etc), 5) no se describían las pruebas de rendimiento, 6) no estaban disponibles los factores de rendimiento y 7) utilizaban ayudas ergogénicas.

Codificación de los estudios

Dos revisores independientes (MR y CB) a quienes se ocultaron los autores, las afiliaciones y la revista editorial leyeron y codificaron cada estudio seleccionado usando los siguientes moderadores: intensidad de entrenamiento de la fuerza (fuerza máxima, potencia máxima, fuerza submáxima, combinación), frecuencia del entrenamiento de la fuerza (una sesión por semana, dos sesiones por semana, tres sesiones o más por semana), la duración de la intervención de entrenamiento (<24 sesiones y ≥ 24 sesiones), nivel de rendimiento (internacional, nacional o regional), sexo (masculino, femenino, ambos), edad (<18 años, entre 18 y 45 años, entre 46 y 64 años y ≥ 65 años). Con respecto a la intensidad del entrenamiento de la fuerza, la fuerza máxima incluyó series de 1 a 5 repeticiones de contracciones isoinerciales al 80% de 1 repetición máxima (RM) o más (21). La potencia máxima incluyó entrenamiento pliométrico, entrenamiento de sprint y series de 4 a 6 repeticiones con una carga que permitiera alcanzar la potencia máxima durante un movimiento específico isoinercial (22). Finalmente, la fuerza submáxima incluyó series de 6 a 25 repeticiones de contracciones isoinerciales entre 60 y 80% de 1RM (21). Las pruebas y medidas utilizadas para evaluar la fuerza máxima, la potencia máxima y la fuerza submáxima fueron las mismas que se utilizaron en un meta-análisis anterior realizado por nuestro grupo de investigación (23). Las mediciones de VO_{2max} y EC debían haber sido obtenidas durante una prueba de esfuerzo progresiva máxima y durante una prueba de intensidad constante submáxima de 6 a 10 min, respectivamente. Las mediciones de AE incluyeron mediciones directas tales como el rendimiento relativo (% de la potencia aeróbica máxima) durante un test de duración constante, distancia constante o intensidad constante y mediciones indirectas tales como el porcentaje de VO_{2max} correspondiente a los umbrales de lactato o ventilatorio (24). Se utilizó una escala con intervalos para la codificación del rendimiento y mediciones de aptitud muscular y aeróbica, y una escala nominal para la codificación de los otros moderadores. Cualquier desacuerdo entre los dos revisores se discutió en una reunión de consenso, y los temas no resueltos fueron aportados a un tercer revisor (NB) para su resolución.

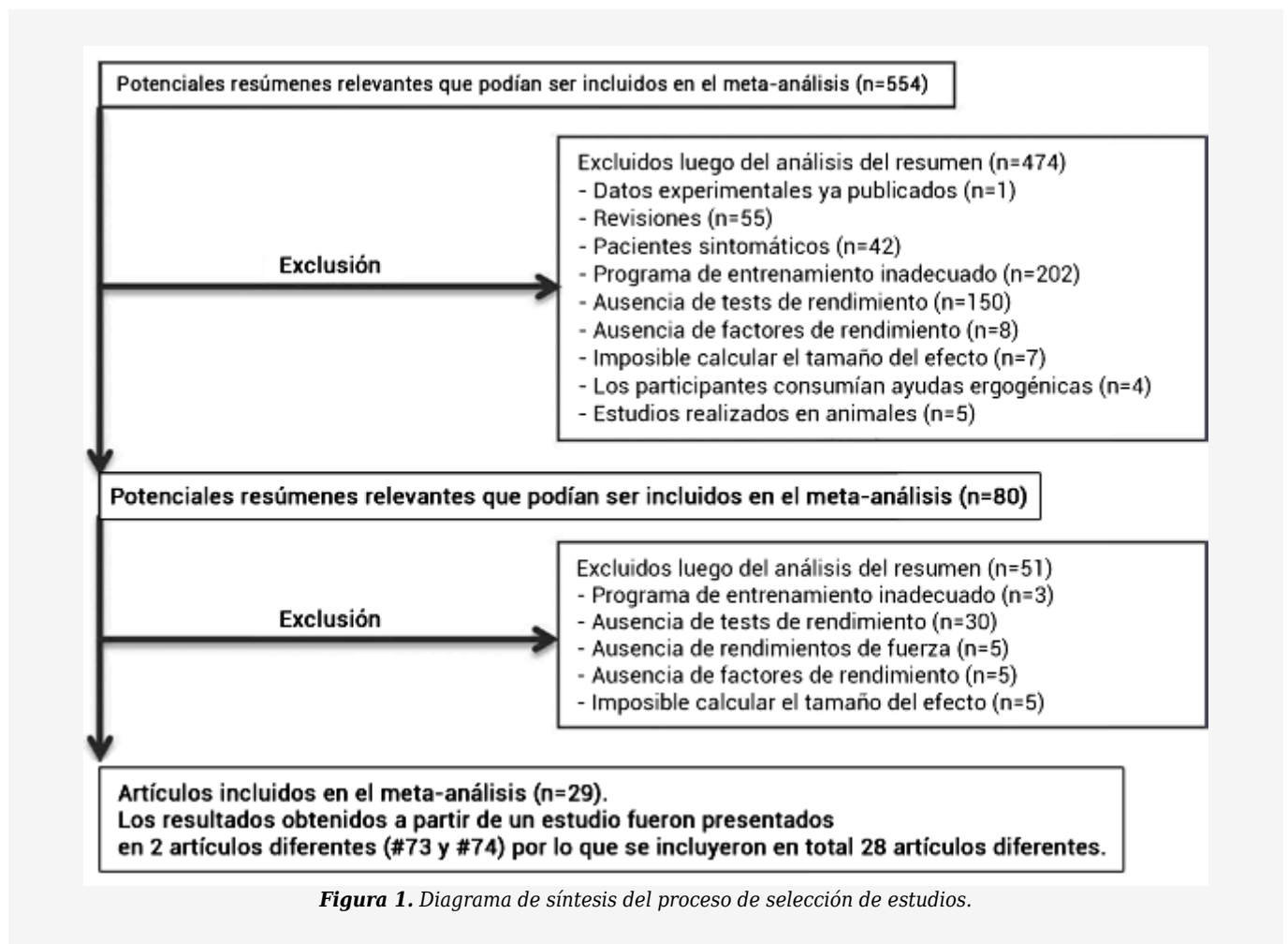
Análisis Estadístico

Se calcularon las diferencias de medias estandarizadas (SMD) para cada grupo de estudio utilizando el índice *g* de Hedges (25). En aquellos estudios que utilizaran varias medidas de rendimiento muscular, se calculó una sola SMD compuesta (26). Considerando que el efecto combinado del entrenamiento de la fuerza y el entrenamiento aeróbico específico del deporte sobre el rendimiento puede variar en función de los parámetros de la carga de entrenamiento y de otros moderadores relacionados a las características de los participantes, se decidió *a priori* utilizar un modelo de efectos aleatorios con el método de DerSimonian y Laird. Las diferencias de medias estandarizadas fueron ponderadas por la inversa de la varianza para calcular un efecto global y su intervalo de confianza del 95% (IC). El efecto de tratamiento neto se obtuvo restando la SMD del grupo control de la SMD del grupo experimental. La varianza se calculó a partir de la desviación estándar agrupada de las puntuaciones de cambio en ambos grupos. El efecto de tratamiento neto y su varianza se calcularon para cada categoría dentro de las variables moderadoras, así como también el IC del 95% para determinar si la SMD era diferente de 0. Se realizó un Q-test basado en el análisis de la varianza para probar la hipótesis nula que afirmaba que el efecto de la combinación de entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico específico del deporte era similar entre las categorías de una variable moderadora (26). En los casos en que se rechazó la hipótesis nula, se realizaron comparaciones por pares mediante un test Z. Los resultados de la prueba Q también se utilizaron para calcular el estadístico I² que representa, para cada categoría de una variable moderadora, el porcentaje de la variabilidad entre estudios que se debe a heterogeneidad clínica y/o metodológica y no a un error de muestreo (26). Los criterios de Cohen fueron utilizados para interpretar la magnitud de SMD: <0,2, trivial; 0,2 a 0,5, pequeña; 0,5 a 0,8, moderada; y > 0,8

grande. Todos los cálculos fueron realizados con el software *Comprehensive Meta-analysis* (www.metaanalysis.com)

RESULTADOS

La búsqueda bibliográfica permitió identificar 554 publicaciones potencialmente relevantes, de las cuales 28 cumplieron todos los criterios de inclusión. Los criterios de exclusión se detallan en la Figura 1. Las disciplinas deportivas incluidas en este meta-análisis fueron: carrera (*running*), ciclismo, esquí de fondo y natación.



Articles included in the meta-analysis (n=29)= Artículos incluidos en el meta-análisis (n=29). Results from a study were presented in 2 different articles (#73 y #74) so a total of 28 different studies were included= Los resultados obtenidos a partir de un estudio fueron presentados en 2 artículos diferentes (#73 y #74) por lo que se incluyeron en total 28 artículos diferentes.

Los resultados (Figura 2) indicaron que la adición de un mesociclo de entrenamiento de fuerza al programa de entrenamiento aeróbico específico del deporte se asoció con mejoras moderadas en el rendimiento de media y larga distancia [SMD neta (IC del 95%) = 0,52 (0,33 a 0,70) I² = 41%]. Además, se observó un efecto de la intensidad del entrenamiento de la fuerza ya que el entrenamiento de fuerza máxima y una combinación de métodos produjeron mayores beneficios que el entrenamiento de potencia submáxima y máxima.

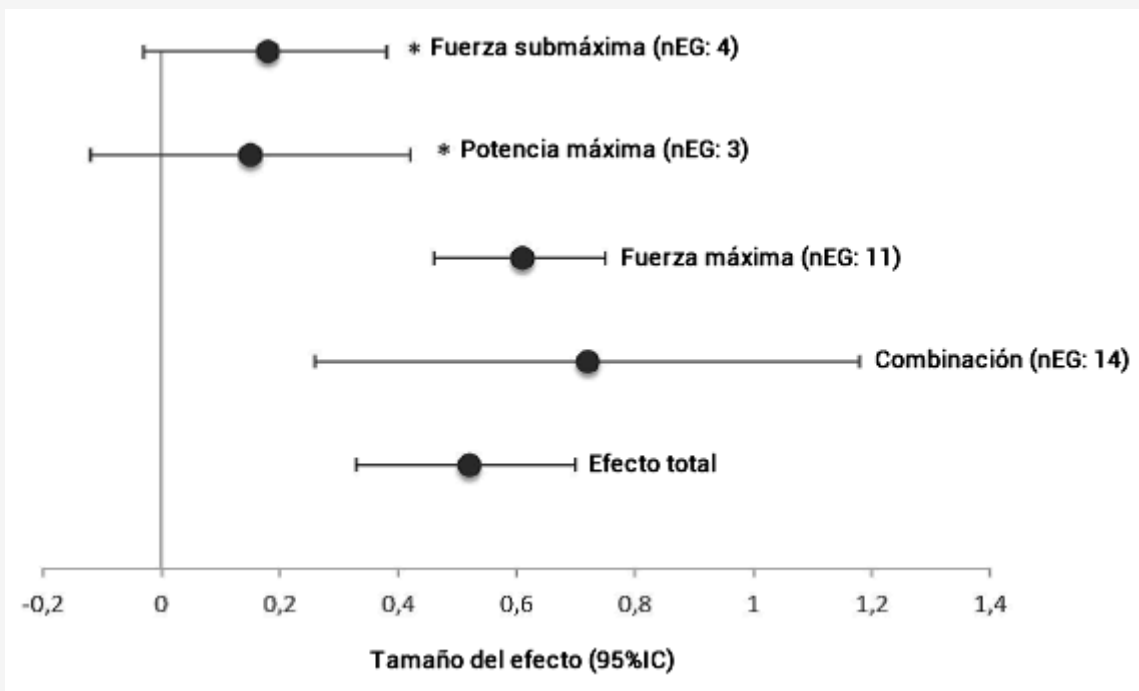


Figura 2. Entrenamiento de la fuerza para rendimiento de media y larga distancia. *Presenta diferencias con la fuerza máxima y la combinación ($p < 0,01$). nEG=Cantidad de grupos experimentales

Por otra parte, la implementación de un programa de entrenamiento de fuerza provocó un moderado aumento en el costo energético (EC) (Figura 3) [SMD neta (IC del 95%) = 0,65 (0,32 a 0,98), I2 = 30%] mientras que VO_{2max} [SMD neta (IC del 95%) = 0,03 (-0,16 a 0,23), $p = 0,75$ e I2 = 0%] y la resistencia aeróbica (AE) [SMD neta (IC del 95%) = 0,03 (-0,19 a 0,25), $p = 0,82$ e I2 = 26%] se mantuvieron sin cambios.

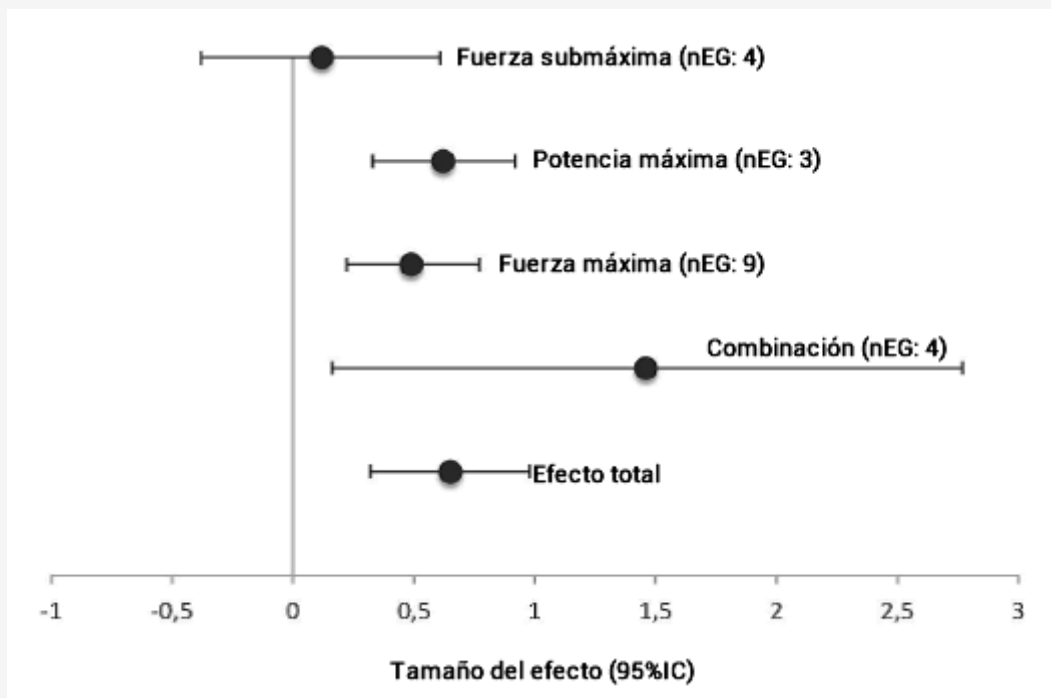


Figura 3. Entrenamiento de la fuerza y costo energético de la locomoción. nEG=Cantidad de grupos experimentales.

En cuanto a la aptitud neuromuscular (Figuras 4 y 5), se observó un gran aumento de la fuerza máxima [SMD neta (IC del 95%) = 0,99 (0,80 a 1,18), I2 = 46%] y un aumento moderado de la potencia máxima [SMD neta (IC del 95%) = 0,50 (0,34 a 0,67), I2 = 6%] como consecuencia de incluir un régimen de entrenamiento de la fuerza además del programa de entrenamiento aeróbico específico del deporte. Nuevamente, se encontró un efecto de la intensidad del entrenamiento de fuerza, ya que el entrenamiento submáximo produjo ganancias de potencia máxima menores a las de todos los otros métodos.

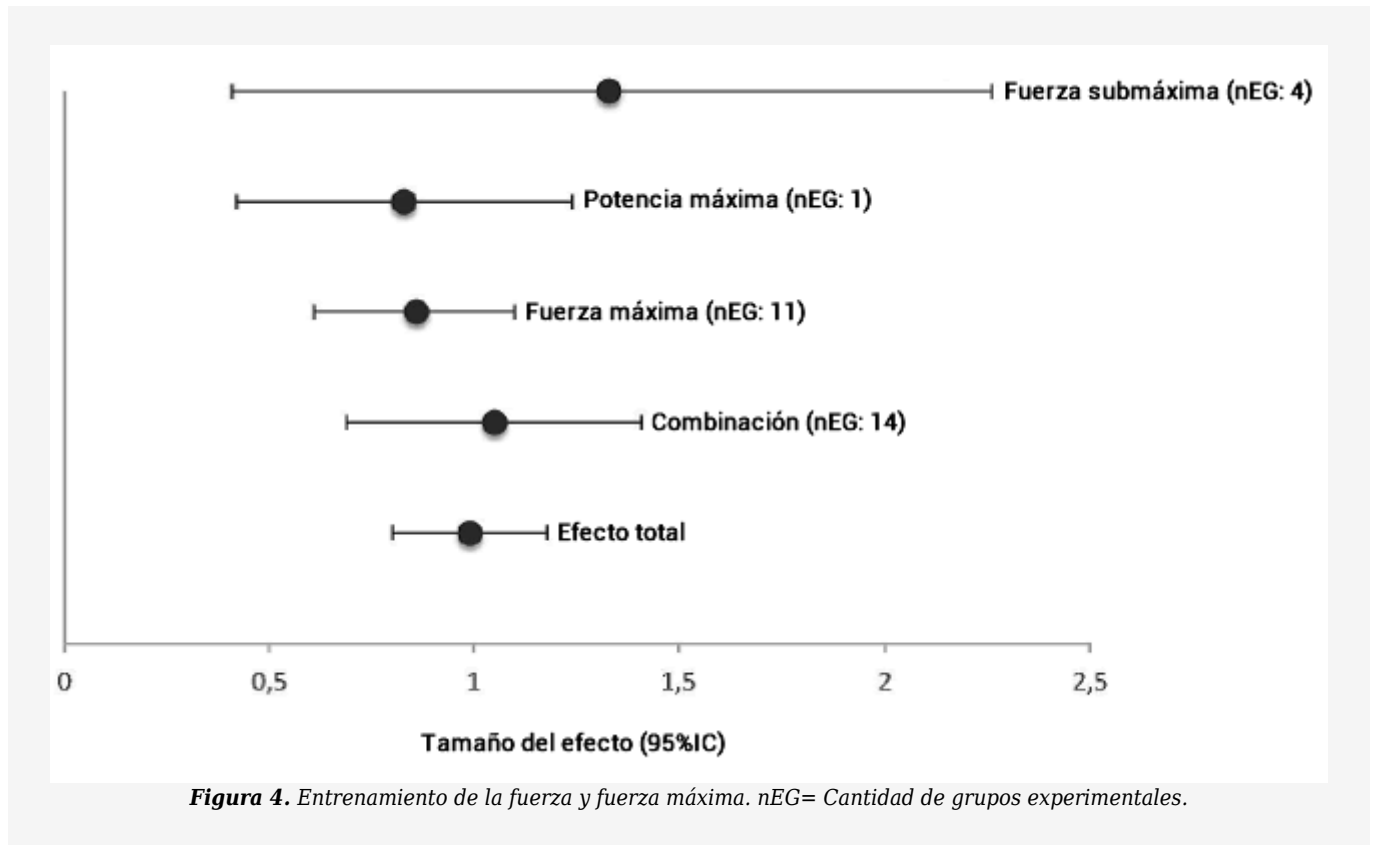


Figura 4. Entrenamiento de la fuerza y fuerza máxima. nEG= Cantidad de grupos experimentales.

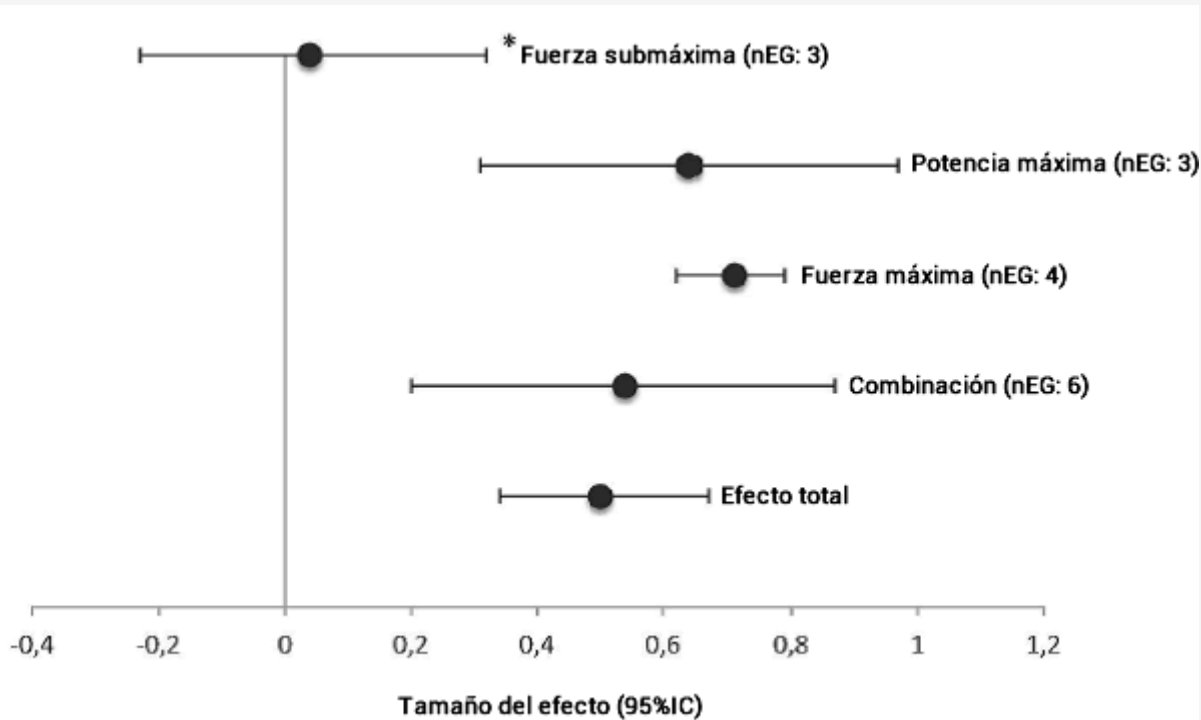


Figura 5. Entrenamiento de la fuerza y potencia máxima. *Presenta diferencias con todas las otras condiciones ($p < 0,01$). nEG= Cantidad de grupos experimentales.

También se realizó un análisis de subgrupos de las variables moderadoras (Tablas 1-6). Se observaron diferencias significativas en la carga de entrenamiento de la fuerza (intensidad y frecuencia) y AE. Notablemente, el volumen del entrenamiento de la fuerza se asoció con reducciones en EC, y los protocolos, que incluían más de 24 sesiones produjeron mayores efectos en el costo energético (EC) que los programas más cortos. Los atletas de nivel regional y nacional parecen beneficiarse particularmente de estas intervenciones para mejorar la potencia máxima y la fuerza máxima, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en la categoría de disciplina deportiva, lo que indica que todos los deportes incluidos en los análisis (carrera, ciclismo, esquí de fondo y natación) obtendrían beneficios similares si se aplicara esta estrategia de entrenamiento. No se pudo probar el posible efecto del sexo y la edad, ya que no encontramos suficientes estudios que incluyeran exclusivamente mujeres o participantes con una edad media inferior a 18 años o mayor de 46 años para abordar este ítem.

Tabla 1. Efecto neto de la combinación de entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico en el rendimiento de media y larga distancia según la carga del entrenamiento de la fuerza (frecuencia y volumen), nivel de rendimiento y disciplina deportiva nEG: cantidad de grupos experimentales; SMD: diferencia de medias estandarizada; IC: intervalo de confianza; I2: porcentaje de la variabilidad entre estudios que se debe a heterogeneidad clínica y/o metodológica y no a un error de muestreo. a:SMD: <0,2: trivial; 0,2 a 0,5: pequeña; 0,5 a 0,8: moderada; y > 0,8: grande

Moderador	nEG	SMD a	95% IC	I ²
Frecuencia de entrenamiento				
Una sesión/semana	3	0,43	0,00 a 0,85	7
Dos sesiones/semana	18	0,52	0,22 a 0,82	41
Tres sesiones/semana	9	0,38	0,12 a 0,65	0
Volumen de Entrenamiento				
< 24 sesiones	10	0,44	0,14 a 0,73	40
≥ 24 sesiones	20	0,41	0,22 a 0,60	10
Nivel de Rendimiento				
Internacional	2	1,10	-0,61 a 2,80	0
Nacional	11	0,46	0,24 a 0,67	0
Regional/Provincial	19	0,50	0,24 a 0,76	48
Deporte				
Carreras (Running)	15	0,71	0,31 a 1,12	34
Ciclismo	11	0,36	0,11 a 0,61	0
Otro	6	0,44	0,15 a 0,73	0

Tabla 2. Efecto neto del entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico combinados sobre el consumo de oxígeno máximo según la carga del entrenamiento de la fuerza, el nivel de rendimiento y la disciplina deportiva. nEG: número de grupos experimentales; SMD: diferencia de medias estandarizada; IC: intervalo de confianza; I²: porcentaje de la variabilidad entre estudios que se debe a heterogeneidad clínica y/o metodológica y no a un error de muestreo. aSMD: <0,2: trivial; 0,2 a 0,5: pequeña; 0,5 a 0,8: moderada; y > 0,8: grande. b Fuerza máxima incluye conjuntos de 1 a 5 repeticiones al 80% de 1 repetición máxima (RM) o más; Potencia máxima incluye entrenamiento pliométrico, entrenamiento de sprint y series de 4 a 6 repeticiones con una carga que permite alcanzar la potencia máxima durante un movimiento isoercial específico; La fuerza submáxima incluía series de 6 a 25 repeticiones entre 60 y 80% de 1RM

Moderador	nEG	SMD a	95% IC	I ²
Intensidad de entrenamiento b				
Fuerza máxima	11	0,14	-0,17 a 0,46	0
Potencia máxima	3	-0,17	-0,46 a 0,11	0
Fuerza sub-máxima	4	-0,17	-0,44 a 0,10	0
Combinación	14	0,02	-0,22 a 0,26	31
Frecuencia de entrenamiento				
Una sesión/semana	2	0,02	-0,22 a 0,26	0
Dos sesiones/semana	19	0,07	-0,09 a 0,23	21
Tres sesiones/semana	9	0,14	-0,19 a 0,47	0
Volumen de Entrenamiento				
< 24 sesiones	10	- 0,06	-0,23 a 0,11	0
≥ 24 sesiones	20	0,18	-0,04 a 0,39	0
Nivel de Rendimiento				
Internacional	2	-0,54	-1,41 a 0,34	0
Nacional	11	-0,01	-0,23 a 0,21	0
Regional/Provincial	19	0,11	-0,13 a 0,36	0
Deporte				
Carreras (Running)	15	0,03	-0,16 a 0,23	30
Ciclismo	11	0,11	-0,20 a 0,42	0
Otro	6	- 0,16	-0,57 a 0,25	7

Tabla 3. Efecto neto del entrenamiento de la fuerza y del entrenamiento aeróbico combinados sobre la resistencia aeróbica en función de la carga del entrenamiento de fuerza, el nivel de rendimiento y la disciplina deportiva. nEG: número de grupos experimentales; SMD: diferencia de medias estandarizada; IC: intervalo de confianza; I²: porcentaje de la variabilidad entre estudios que se debe a heterogeneidad clínica y/o metodológica y no a un error de muestreo. a SMD: <0,2: trivial; 0,2 a 0,5: pequeña; 0,5 a 0,8: moderada; y > 0,8: grande. b Fuerza máxima incluye conjuntos de 1 a 5 repeticiones al 80% de 1 repetición máxima (RM) o más; Potencia máxima incluye entrenamiento pliométrico, entrenamiento de sprint y series de 4 a 6 repeticiones con una carga que permite producir la potencia máxima durante un movimiento isoinercial específico; La fuerza submáxima incluía series de 6 a 25 repeticiones entre 60 y 80% de 1RM. c Presenta diferencias con la condición combinación (p <0,01). d Presenta diferencias con los grupos de una o tres sesiones por semana (p <0,01)

Moderador	nEG	SMD a	95% IC	I ²
Intensidad de entrenamiento b				
Fuerza máxima	11	0,14	-0,17 a 0,46	0
Potencia máxima	3	-0,17	-0,46 a 0,11	0
Fuerza sub-máxima	4	-0,17	-0,44 a 0,10	0
Combinación	14	0,02	-0,22 a 0,26	31
Frecuencia de entrenamiento				
Una sesión/semana	2	0,02	-0,22 a 0,26	0
Dos sesiones/semana	19	0,07	-0,09 a 0,23	21
Tres sesiones/semana	9	0,14	-0,19 a 0,47	0
Volumen de Entrenamiento				
< 24 sesiones	10	- 0,06	-0,23 a 0,11	0
≥ 24 sesiones	20	0,18	-0,04 a 0,39	0
Nivel de Rendimiento				
Internacional	2	-0,54	-1,41 a 0,34	0
Nacional	11	-0,01	-0,23 a 0,21	0
Regional/Provincial	19	0,11	-0,13 a 0,36	0
Deporte				
Carreras (Running)	15	0,03	-0,16 a 0,23	30
Ciclismo	11	0,11	-0,20 a 0,42	0
Otro	6	- 0,16	-0,57 a 0,25	7

Tabla 5. Efecto neto del entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico combinados sobre la fuerza máxima en función de la carga del entrenamiento de la fuerza (frecuencia y volumen), nivel de rendimiento y disciplina deportiva. nEG: número de grupos experimentales; SMD: diferencia de medias estandarizada; IC: intervalo de confianza; I²: porcentaje de la variabilidad entre estudios que se debe a heterogeneidad clínica y/o metodológica y no a un error de muestreo. a SMD: <0,2: trivial; 0,2 a 0,5: pequeña; 0,5 a 0,8: moderada; y > 0,8: grande. b Presenta diferencia con el valor correspondiente a los atletas nacionales (p <0,01)

Moderador	nEG	SMD ^a	95% IC	I ²
Frecuencia de entrenamiento				
Una sesión/semana	0	-	-	-
Dos sesiones/semana	19	1,10	0,76 a 1,43	34
Tres sesiones/semana	9	0,72	0,64 a 0,80	0
Volumen de Entrenamiento				
< 24 sesiones	8	0,93	0,59 a 1,27	20
≥ 24 sesiones	20	0,86	0,72 a 1,20	52
Nivel de Rendimiento				
Internacional	2	0,66	0,10 a 1,22	0
Nacional	11	1,23	0,95 a 1,60	3
Regional/Provincial	17	0,83 b	0,59 a 1,07	60
Deporte				
Carreras (Running)	13	0,84	0,55 a 1,13	0
Ciclismo	11	1,21	0,84 a 1,58	58
Otro	6	1,03	0,41 a 1,64	17

Tabla 6. Efecto neto del entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico combinados sobre la potencia máxima según la carga de entrenamiento de la fuerza (frecuencia y volumen), nivel de rendimiento y disciplina deportiva nEG: número de grupos experimentales; SMD: diferencia de medias estandarizada; IC: intervalo de confianza; I²: porcentaje de la variabilidad entre estudios que se debe a heterogeneidad clínica y/o metodológica y no a un error de muestreo. a SMD: <0,2: trivial; 0,2 a 0,5: pequeña; 0,5 a 0,8: moderada; y > 0,8: grande. b Presenta diferencias con las otras condiciones (p <0,01). C: Presenta diferencias con el nivel nacional (p<0,01).

Moderador	nEG	SMD ^a	95% IC	I ²
Frecuencia de entrenamiento				
Una sesión/semana	2	0,59	-0,10 a 1,27	0
Dos sesiones/semana	8	0,32 b	0,09 a 0,54	4
Tres sesiones/semana	5	0,67	0,52 a 0,82	15
Volumen de Entrenamiento				
< 24 sesiones	4	0,62	0,38 a 0,87	6
≥24 sesiones	11	0,41	0,18 a 0,65	0
Nivel de Rendimiento				
Internacional	2	0,59	-0,21 a 1,39	0
Nacional	4	0,21	-0,07 a 0,50	0
Regional/Provincial	10	0,60 c	0,42 a 0,77	11
Deporte				
Carreras (Running)	11	0,51	0,28 a 0,73	0
Ciclismo	3	0,59	0,21 a 0,97	19
Otro	2	0,32	- 0,02 a 0,67	0

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos netos del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de media y larga distancia a través de un meta-análisis de la literatura disponible. En apoyo de nuestra hipótesis, los resultados de este meta-análisis revelaron que una estrategia de entrenamiento de este tipo mejora moderadamente los resultados en comparación con el entrenamiento aeróbico específico del deporte, independientemente del nivel de los atletas. Además,

estas mejoras en el rendimiento podrían estar asociadas con mejoras en EC, mientras que no se observaron cambios en AE y VO_{2max} .

Creemos que este es el primer meta-análisis integral que evalúa los efectos netos de este paradigma concurrente de entrenamiento en el rendimiento de media y larga distancia, sus determinantes fisiológicos y aptitud neuromuscular; todo esto en relación con las características de la intervención de entrenamiento y del nivel de rendimiento de los atletas participantes. Los presentes resultados coinciden con lo observado en una publicación reciente donde se observó un efecto beneficioso del entrenamiento de la fuerza en EC en una muestra de corredores. De hecho, se demostró que el entrenamiento con fuerza explosiva y máxima redujo significativamente el costo energético (EC) en 4,83 (+/- 1,53) y en 3,65 (+/- 2,74) % respectivamente (10). También se observó una relación significativa entre la duración del entrenamiento y las mejoras de EC, lo que sugiere que aunque 6-8 semanas de entrenamiento de la fuerza podrían producir una reducción en el EC, los protocolos de entrenamiento más largos (hasta 14 semanas) podrían ser más beneficiosos. De acuerdo con este resultado, nuestro análisis de subgrupos reveló un efecto significativo de la duración de la intervención de entrenamiento de la fuerza, donde los protocolos que incluían de 24 sesiones produjeron mayores reducciones en el EC en comparación con los protocolos con menos de 24 sesiones.

Con respecto a otros determinantes fisiológicos del rendimiento de media y larga distancia, parece que tanto el VO_2 máximo como la AE se mantuvieron sin cambios. Aunque estos resultados para VO_{2max} eran esperables (13), una revisión reciente de la literatura sugiere un efecto positivo del entrenamiento de la fuerza sobre AE (5). Curiosamente, aunque no se encontró ningún efecto global significativo para AE, nuestro análisis de subgrupos reveló que la intensidad de entrenamiento de la fuerza es una variable importante. De hecho, parece que una combinación de métodos de entrenamiento para la fuerza, que contemple una gama de intensidades y cargas de entrenamiento, podría ser beneficiosa para AE. Por otra parte, la frecuencia de entrenamiento de la fuerza fue un moderador significativo asociado con AE: 2 sesiones de fuerza semanales se relacionaron con las mejoras en AE. Sin embargo, los mecanismos responsables de estos efectos de intensidad y frecuencia no están claros y no pueden ser establecidos a partir del presente conjunto de datos.

Las mejoras observadas en el rendimiento de media y larga distancia también fueron acompañadas por mejoras en la aptitud neuromuscular como consecuencia de incluir un régimen de entrenamiento para la fuerza además del programa de entrenamiento aeróbico específico del deporte. De hecho, se observaron tamaños de efecto grande y moderado para la fuerza máxima y la potencia máxima, respectivamente. Notablemente, un efecto menor sobre la potencia máxima en comparación con la fuerza máxima después de un ciclo con entrenamiento para la fuerza y entrenamiento aeróbico combinados podría estar relacionado con el fenómeno de interferencia, que es definido como una reducción en las ganancias de fuerza cuando tanto el entrenamiento aeróbico como el entrenamiento de fuerza se presentan en el mismo mesociclo (14). De hecho, un meta-análisis publicado en 2012 (13) demostró que el fenómeno de interferencia estaba particularmente relacionado con la potencia de los miembros inferiores. Además, se demostró que la carrera era más perjudicial que el ciclismo para los aumentos de fuerza (13). Sin embargo, nuestros resultados no apoyan este efecto asociado a la disciplina deportiva porque en nuestro análisis de subgrupos, no se observaron diferencias entre los deportes.

Aunque la intensidad del entrenamiento para la fuerza no fue un factor clave para las mejoras en la fuerza máxima, nuestros resultados revelaron que el entrenamiento con sobrecarga pesado y explosivo fueron métodos particularmente eficaces para mejorar la potencia máxima. Estos resultados coinciden con algunos informes que demuestran que los levantadores de peso novatos podrían mejorar la potencia máxima y la fuerza máxima mediante la implementación de un programa de entrenamiento de sobrecarga pesado (28), y que estas ganancias eventuales en la fuerza máxima podrían representar más tarde una ventaja para mejorar la potencia máxima a través de un entrenamiento para la fuerza explosivo tradicional (29). En conjunto, estos resultados apoyan la implementación de entrenamiento para la fuerza y entrenamiento aeróbico combinados para mejorar la aptitud neuromuscular en atletas de media y larga distancia, que podrían no tener experiencia con el entrenamiento de la fuerza. Notablemente, nuestros resultados demuestran que los atletas de nivel regional y nacional podrían beneficiarse particularmente, en lo relacionado a la aptitud neuromuscular, con estas intervenciones de entrenamiento de fuerza.

Nuestro análisis de subgrupos demostró un efecto de la intensidad del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de media y larga distancia. El entrenamiento de la fuerza máxima y una combinación de métodos (fuerza submáxima, fuerza máxima y potencia máxima) durante un mesociclo serían estrategias particularmente eficaces para mejorar el rendimiento de los atletas. Se sugirió que diferentes mecanismos tendrían un papel clave en esta relación entre la aptitud neuromuscular y el rendimiento en media y larga distancia. Una mejor función neural, una mayor velocidad de desarrollo de la fuerza, los incrementos de fibras tipo I de fuerza máxima, la mayor proporción de fibras de tipo IIa a expensas de las fibras del tipo IIb, las modificaciones de la rigidez de los tendones y las propiedades del ciclo de estiramiento-acortamiento son todas propiedades que contribuyen con el mejor rendimiento de media y larga distancia (5, 16). Sin embargo, aún debemos establecer cuál sería la periodización más adecuada de entrenamiento de la fuerza y entrenamiento aeróbico.

Debemos reconocer que este estudio no está exento de limitaciones. De hecho, el sistema de energía aeróbica no es el único factor determinante del rendimiento de media y larga distancia. El rendimiento anaeróbico también sería fundamental, especialmente en eventos más cortos (16, 30). Sin embargo, hasta donde sabemos, en la actualidad la investigación en este campo ha sido realizada principalmente sobre factores aeróbicos (VO_{2max} , AE y EC). Teniendo en cuenta los beneficios del entrenamiento de la fuerza para el rendimiento anaeróbico (31), recomendamos que se realicen más investigaciones para comprender mejor la relación entre el entrenamiento de la fuerza, los factores anaeróbicos y el rendimiento de media y larga distancia. Otra limitación de este campo de investigación está relacionada con la duración de los protocolos de entrenamiento. Aunque este estudio observó mayores beneficios para la EC después de protocolos de entrenamiento más largos (> 24 sesiones), se podría argumentar que no se conocen con detalle cuales serían los efectos crónicos de un régimen de entrenamiento de este tipo. Deberían realizarse investigaciones futuras para estudiar los efectos de diferentes estrategias de periodización a largo plazo, lo que permitirá aportar mejores recomendaciones a los profesionales sobre, por ejemplo, el momento apropiado para la implementación de desarrollo de la fuerza dentro del plan anual de entrenamiento.

Aplicaciones prácticas

Los resultados de este meta-análisis apoyan la implementación de entrenamiento de la fuerza además del programa aeróbico específico del deporte para mejorar moderadamente el rendimiento en eventos de media y larga distancia. Notablemente, los resultados sugieren que estos efectos beneficiosos son similares para la carrera, el ciclismo, el esquí de fondo y la natación, independientemente del nivel de los atletas. Con respecto a las adaptaciones al entrenamiento, este meta-análisis reveló que el EC podría ser mejorado a través de una estrategia de entrenamiento, y que no se observarían efectos perjudiciales ni en VO_{2max} ni en AE. En términos de intensidad de entrenamiento de la fuerza, se observaron mayores efectos sobre el rendimiento con la aplicación de programas que contemplaban el desarrollo de la fuerza máxima. Además, una frecuencia de entrenamiento de 2 sesiones de entrenamiento de la fuerza por semana y una duración de protocolo con más de 24 sesiones se asociaron con mayores beneficios en EC.

CONCLUSIÓN

En resumen, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos netos del entrenamiento de la fuerza en el rendimiento de media y larga distancia a través de un meta-análisis de la literatura disponible. Los resultados de este meta-análisis sostienen que existiría un efecto beneficioso moderado de tal régimen de entrenamiento en el rendimiento. Se deben realizar investigaciones futuras en este campo para comprender los efectos de las diferentes estrategias de periodización, particularmente desde una perspectiva a largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

No se utilizaron fuentes de financiación para la preparación de este manuscrito. Los autores no tienen conflictos de intereses que sean directamente relevantes para el contenido de este artículo.

REFERENCIAS

1. Joyner M.J., Coyle E.F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J. Physiol.*586(1):35-44.
2. di Prampero P.E., Atchou G., Bruckner J.C., Moia C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*55(3):259-266.
3. Esteve-Lanao J., San Juan A.F., Earnest C.P., Foster C., Lucia A. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*37(3):496-504.
4. Seiler S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int. J. Sports Physiol. Perform.*5(3):276-291.
5. Ronnestad B.R., Mujika I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 24(4):603-612.
6. Hoff J., Gran A, Helgerud J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand. J. Med. Sci.*

Sports.12(5):288-295.

7. Berryman N., Maurel D., Bosquet L. (2010). Effect of plyometric vs. *dynamic weight training on the energy cost of running*. *J. Strength Cond. Res.* 24(7):1818-1825.
8. Balsalobre-Fernandez C., Santos-Concejero J., Grivas G.V. (2015). The Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners: A Systematic Review with Meta-Analysis of Controlled Trials. *J. Strength Cond. Res.*
9. Barnes K.R., Kilding A.E. (2015). Strategies to improve running economy. *Sports Med*.45(1):37-56.
10. Denadai B.S., de Aguiar R.A., de Lima L.C., Greco C.C., Caputo F. (2016). Explosive Training and Heavy Weight Training are Effective for Improving Running Economy in Endurance Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*.
11. Nader G.A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med. Sci. Sports Exerc*.38(11):1965-1970.
12. Chilibeck P.D., Syrotuik D.G., Bell G.J. (1999). The effect of strength training on estimates of mitochondrial density and distribution throughout muscle fibres. *European journal of applied physiology and occupational physiology*.80(6):604-609.
13. Wilson J.M., Marin P.J., Rhea M.R., Wilson S.M., Loenneke J.P., Anderson J.C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 26(8):2293-2307.
14. Docherty D., Sporer B. (2000). A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med*. 30(6):385-394.
15. Sale D.G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc*.20 (5 Suppl):S135-145.
16. Aagaard P., Andersen J.L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports*.20 Suppl 2:39-47.
17. Paavolainen L., Hakkinen K., Rusko H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*;62(4):251-255.
18. Tanaka H., Costill D.L., Thomas R., Fink W.J., Widrick J.J. (1993). Dry-land resistance training for competitive swimming. *Med. Sci. Sports Exerc*.25(8):952-959.
19. Leveritt M., Abernethy P.J., Barry B.K., Logan P.A. (1999). Concurrent strength and endurance training. *A review*. *Sports Med*.28(6):413-427.
20. Gastin P.B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*. 31(10):725-741.
21. American College of Sports M. American College of Sports Medicine position stand. (2009). Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc*.41(3):687-708.
22. Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*. 41(2):125-146.
23. Bosquet L., Berryman N., Dupuy O., et al. (2013). Effect of training cessation on muscular performance: a meta-analysis. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 23(3):e140-149.
24. Bosquet L., Leger L., Legros P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med*. 32(11):675-700.
25. Hedges L. (1981). Distribution theory for Glass's estimator of effect size and related estimators. *Journal of Educational Statistics*.6:107-128.
26. Borenstein M., Hedges L., Higgins J., Rothstein H. (2009). Introduction to meta-analysis. *Chichester, WS: John Wiley and sons*.
27. Cohen J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988*.
28. Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med. Sci. Sports Exerc*. 42(8):1582-1598.
29. Cormie P., McGuigan M.R., Newton R.U. (2010). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med. Sci. Sports Exerc*. 42(8):1566-1581.
30. Paavolainen L., Hakkinen K., Hamalainen I., Nummela A., Rusko H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* (1985). 86(5):1527-1533.
31. Suchomel T.J., Nimphius S., Stone M.H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med*. 2016.

Cita Original

Nicolas Berryman, Inigo Mujika, Denis Arvisais, Marie Roubex, Carl Binet, and Laurent Bosquet. (2017). Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis ". *International Journal of Sports Physiology and Performance*. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.