



Efectos del entrenamiento de fuerza en el rendimiento del ciclismo de carretera: Una revisión sistemática

Effects of strength training on cycling performance: A systematic review.

Autor y ponente:

Carlos Barrado Sanz

Promoción:

2019-2023

Dirección del trabajo de fin de grado:

Sebastian Jan Sitko Sarna

Fecha de presentación:

08/06/2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría expresar mis agradecimientos a todas las personas que han contribuido en la ayuda de la realización de este trabajo de fin de grado, en concreto mi gratitud a Sebastián Sitko, por su ayuda en la orientación, su apoyo constante y sus valiosas sugerencias en todo el proceso.

También me gustaría agradecer a los investigadores y autores cuyos estudios fueron utilizados en mi revisión, sin los que su dedicación por este ámbito deportivo, mi trabajo de fin de grado no podría haberse realizado. Así como a la universidad de Zaragoza, la cual me ha brindado los recursos necesarios, como el acceso a la biblioteca, que ha sido totalmente crucial.

No puedo dejar sin agradecer a mis amigos y seres queridos, que me han proporcionado todo su apoyo, pero no solo en este momento, sino durante toda la carrera, hasta llegar hasta aquí.

En resumen, estoy muy agradecido a todas las personas/instituciones mencionadas anteriormente, los cuales han sido sumamente importantes para realizar este trabajo de fin de grado, aportándome así una experiencia académica única.

RESUMEN

Objetivos: El objetivo principal de este estudio consistió en llevar a cabo una revisión sistemática exhaustiva, con el objetivo de examinar y exponer de forma detallada y actualizada los efectos del entrenamiento de fuerza en el rendimiento del ciclismo, buscando el enfoque en los parámetros clave relacionados con el desempeño deportivo.

Métodos: Utilización de toda la literatura encontrada en Pubmed y Web Of Science desde 2009 hasta el 20/05/2023. Se incluyeron todos los estudios originales escritos en inglés, relacionados con el tema de la revisión y que contaran con una muestra de ciclistas de carretera con mínimo 6 meses de entrenamiento y una media semanal mayor de 150km o 7 horas, así como que el entrenamiento de fuerza se realizará fuera de la bicicleta.

Resultados: Los resultados obtenidos en esta revisión abarcaron un total de 11 estudios, con un total de 200 deportistas de un perfil similar. El estudio de los parámetros más importantes (fuerza muscular, composición de fibras, tolerancia al lactato, potencia en umbrales específicos de lactato y $VO_2\text{max}$) reveló mejoras significativas en todos ellos, estableciendo una correlación directa entre ellos y la optimización del rendimiento en los ciclistas.

Conclusiones: Los hallazgos de esta revisión respaldan la efectividad y los beneficios del entrenamiento de fuerza proporcionando mejoras significativas. Es importante considerar una buena programación, centrándose en trabajar estratégicamente los parámetros relevantes y maximizando la eficiencia del entrenamiento, aplicando un programa prolongado en el tiempo con una carga semanal media/baja, donde se realicen 3-4 ejercicios multiarticulares y bilaterales, con un número bajo de 3-4 series y una intensidad alrededor del 80% aumentado gradualmente.

Palabras clave: ciclismo de carretera, entrenamiento de fuerza, rendimiento, programación, fuerza muscular, composición de fibras, tolerancia lactato, VO₂max.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	5
MARCO TEÓRICO.....	6
OBJETIVOS	10
MÉTODO	11
RESULTADOS	14
DISCUSIÓN	21
CONCLUSIONES	30
REFERENCIAS	33

INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN

El presente documento enmarca el Trabajo Fin de Grado Universitario de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la universidad de Zaragoza. El trabajo en cuestión consiste en una revisión sistemática sobre los efectos del entrenamiento de fuerza en el rendimiento de ciclistas de carretera.

Esta investigación está basada en la necesidad de examinar las evidencias científicas actuales de una manera más profunda, consolidando los hallazgos existentes en relación a los beneficios que tiene combinar el entrenamiento de fuerza con el de resistencia.

La justificación de este estudio se centra en el creciente interés por maximizar el rendimiento en el ciclismo, así como en las diferentes búsquedas estratégicas efectivas que ayudan a mejorar las capacidades físicas de los ciclistas. Dado que, nos encontramos en un punto donde está cambiando la idea tradicional, que muestra como principal enfoque el entrenamiento de resistencia para la mejora del rendimiento, emanando una creciente evidencia que respalda la inclusión de la fuerza como complemento para potenciar más el rendimiento en el ciclismo. Pero, sin embargo, no existe una revisión sistemática que incluya los trabajos recientes y actualizados sobre este tema.

Por tanto, con esta revisión sistemática buscamos analizar y sintetizar resultados científicos relacionados con parámetros esenciales en el rendimiento del ciclismo (consumo máximo de oxígeno, potencia muscular, eficiencia del pedaleo...), de manera que podamos brindar una visión general y actualizada sobre los beneficios y desventajas que este entrenamiento puede aportar, así como identificar lagunas en este marco de estudio.

MARCO TEÓRICO

El ciclismo es uno de los deportes más practicados en todo el mundo. Según estudios y encuestas se encuentra en una posición muy destacada en cuanto a popularidad y participación (Unión Ciclista Internacional, 2021)

Desde un principio, existe el consenso sobre la idea de que el entrenamiento es el pilar más importante en el rendimiento del ciclismo (Jeukendrup & Martin, 2001), entendiendo principalmente el entrenamiento desde dos perspectivas; entrenamiento de resistencia y entrenamiento de fuerza (Bastiaans et al., 2001).

El entrenamiento de resistencia ha sido muy explotado por parte de la literatura científica, sin embargo, la incorporación de entrenamiento de fuerza en el período de preparación de los ciclistas ha empezado a recibir cierta atención durante las últimas dos décadas (Hauswirth et al., 2010; Rønnestad et al., 2010a), surgiendo diversas premisas a favor sobre sus beneficios, pero también otras en contra, así numerosos autores lo rechazan con ideas iniciales sin contrastar, como la afirmación de que los atletas que incluyen entrenamiento de fuerza se ven afectados negativamente por los efectos de la hipertrofia en la densidad capilar y la función mitocondrial, según investigaciones previas (Schoenfeld et al., 2017).

Otras investigaciones muestran todo lo contrario, exponiendo que la hipertrofia muscular no va a ser un problema, sino una ventaja, siendo este tipo de entrenamiento útil para atenuar la pérdida de fibras musculares tipo I y tejido conectivo, así como para evitar posibles lesiones (Groennebaek & Vissing, 2017a). Además, es crucial tener en cuenta que las adaptaciones musculares asociadas a la hipertrofia van a ser positivas, consiguiendo

el aumento de la actividad de las enzimas anaeróbicas, el aumento de la producción de fuerza, el aumento de glucógeno intramuscular, e incluso pequeños cambios dentro de los principales grupos de fibras, como evidencian investigaciones previas (Gibala, 2009)

Otra de los puntos recurrentes en la implementación del entrenamiento de fuerza son los efectos negativos de la hipertrofia en la densidad capilar y la función mitocondrial (Groennebaek & Vissing, 2017b), sin embargo, esto ha sido estudiado en numerosos estudios sin encontrarse aparentemente ningún efecto negativo en el consumo máximo de oxígeno (Hauswirth et al., 2010; Rønnestad et al., 2010a). En relación a este aspecto, se puede exponer que los atletas entrenados ya tienen un volumen plasmático alto, y aunque este puede aumentarse en estos individuos, a priori no va a conseguir jugar un papel fundamental en la mejora del $VO_2\text{max}$, y, por lo tanto, en el rendimiento, (Warburton et al., 2000).

En cuanto a las ganancias en la fuerza muscular gracias al entrenamiento de fuerza, se va a abarcar un terreno más amplio del tradicional, el cual se basa en entender como única mejora la ganancia de hipertrofia gracias al entrenamiento de fuerza (Aagaard & Andersen, 2010). Sin embargo, esto no concuerda con otras investigaciones relacionadas con la fuerza, las cuales atribuyen adaptaciones neuromusculares; mejor reclutamiento y sincronización de unidades motoras, así como una mejor tasa de desarrollo de fuerza (Folland & Williams, 2007). Además, es importante tener en cuenta su papel imprescindible en la mejora de los indicadores de rendimiento tradicionales; umbral de lactato, producción de potencia media y economía de esfuerzo, (Ji et al., 2022; Kim et al., 2014; Kristoffersen et al., 2019a; Rønnestad et al., 2010a, 2010b, 2011; Vikmoen et al., 2016).

El entrenamiento de fuerza a priori va a suponer ventajas como hemos comentado, pero es importante tener en cuenta que, si solo se realiza entrenamiento previo, es decir pretemporada, solo una pequeña parte (0-45%) de la fuerza ganada se va a conservar después de 8-12 semanas sin entrenamiento de fuerza, reduciéndose así las fibras musculares y la sección del área transversal muscular (CSA), (Andersen et al., 2005).

Con el fin de contrarrestar estos efectos, resulta crucial incluir en la temporada programas de mantenimiento de la fuerza, donde se requieren de acciones musculares de alta intensidad, pero bajo volumen y frecuencia de entrenamiento, como son los expuestos por (Mujika & Padilla, 2000). Siempre teniendo en cuenta que, agregar grandes volúmenes de entrenamiento de resistencia al entrenamiento de fuerza puede inhibir las adaptaciones al entrenamiento de fuerza (Coffey & Hawley, 2017).

En consecuencia, es importante encontrar el equilibrio para conseguir una ganancia inicial en fuerza y que esta, gracias al entrenamiento se mantenga en el tiempo, aun subiendo la intensidad y volumen de los entrenamientos de resistencia.

Una vez adentrados en el entrenamiento de fuerza, es sumamente importante tener en cuenta que los diferentes tipos de entrenamiento tienen adaptaciones específicas, difiriendo según el objetivo de rendimiento, y tomando de esta forma gran importancia la capacidad del entrenador para considerar factores, como la selección de ejercicios, la intensidad, el volumen de entrenamiento, la frecuencia y la progresión del programa, así como posibles efectos negativos en la relación peso-potencia, como evidencia (Kristoffersen et al., 2019b).

Actualmente, esto lo tenemos en cuenta a la hora de realizar una programación, escogiendo ejercicios que nos sean útiles, y buscando que estos tengan las características

mecánicas o específicas de movimiento similares a los movimientos específicos del deporte objetivo, considerando numerosos factores, como; incluir ejercicios unilaterales o bilaterales en función de lo que busquemos, (Ji et al., 2022). Un ejemplo sería dejar de lado los ejercicios tradicionales e incluir ejercicios modificados como la sentadilla unilateral, la cual nos va a permitir conseguir una mayor especialidad en el movimiento del ciclismo, (Ji et al., 2022).

Al considerar lo mencionado anteriormente, se pueden explicar ciertos estudios sin resultados significativos, como el llevado a cabo por (Levin et al., 2009), donde no se demuestran cambios significantes en los factores determinantes, sino que únicamente se consigue un aumento en la fuerza muscular. Esto se relaciona con lo mencionado anteriormente, y es que, en este estudio los ejercicios utilizados en principio no son específicos, sino que, son ejercicios escogidos de manera general, sin tener en cuenta especificaciones de ellos. Por ello, es tan sumamente crucial tener en cuenta los principios del entrenamiento, y es que, según Bishop et al. (2003) "El diseño adecuado del entrenamiento de fuerza es esencial para obtener beneficios óptimos en el rendimiento ciclista".

Esta revisión sistemática se ha llevado a cabo para proporcionar una síntesis de la evidencia actual sobre el entrenamiento de fuerza agregado al entrenamiento de resistencia en ciclistas entrenados, dejando de lado las opiniones personales de los entrenadores y buscando en el cuerpo de la literatura científica resultados que respalden la incorporación del entrenamiento de fuerza en los programas de entrenamiento, para mejorar aspectos específicos del rendimiento, identificar posibles lagunas en la literatura, y sugerir áreas de investigación futuras.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Revisar y exponer los efectos del entrenamiento de fuerza en el rendimiento de ciclistas de carretera.

Objetivos específicos

- Identificar y evaluar de manera crítica la literatura científica existente que tenga relación con los efectos del entrenamiento de fuerza en el rendimiento en el ciclismo.
- Contrastar y reflexionar sobre los distintos tipos de enfoques y métodos del entrenamiento de fuerza utilizados en el ciclismo, así como su impacto en el rendimiento.

MÉTODO

Se utilizaron las bases de datos PUBMED Y WEB OF SCIENCE para buscar artículos relevantes. La estrategia de búsqueda utilizada fue en base a la cadena; ((cycling) OR (bicycling)) AND ((strength training) OR (resistance training) OR (weight lifting) OR (weightlifting)) NOT ((respiratory muscles) OR (obese) OR (obesity) OR (stroke)). En relación con esto, en ambas bases de datos se utilizaron filtros para incluir únicamente estudios publicados desde 2009 hasta el 20/05/2023, en base a su título y abstract, excluyendo revisiones sistemáticas, metaanálisis, libros y documentos básicos.

Con esta primera búsqueda general PUBMED ofrecía 90 artículos y WOS 87, de los cuales, por aparecer duplicados, únicamente fueron validos 82 en PUBMED y 78 en WOS.

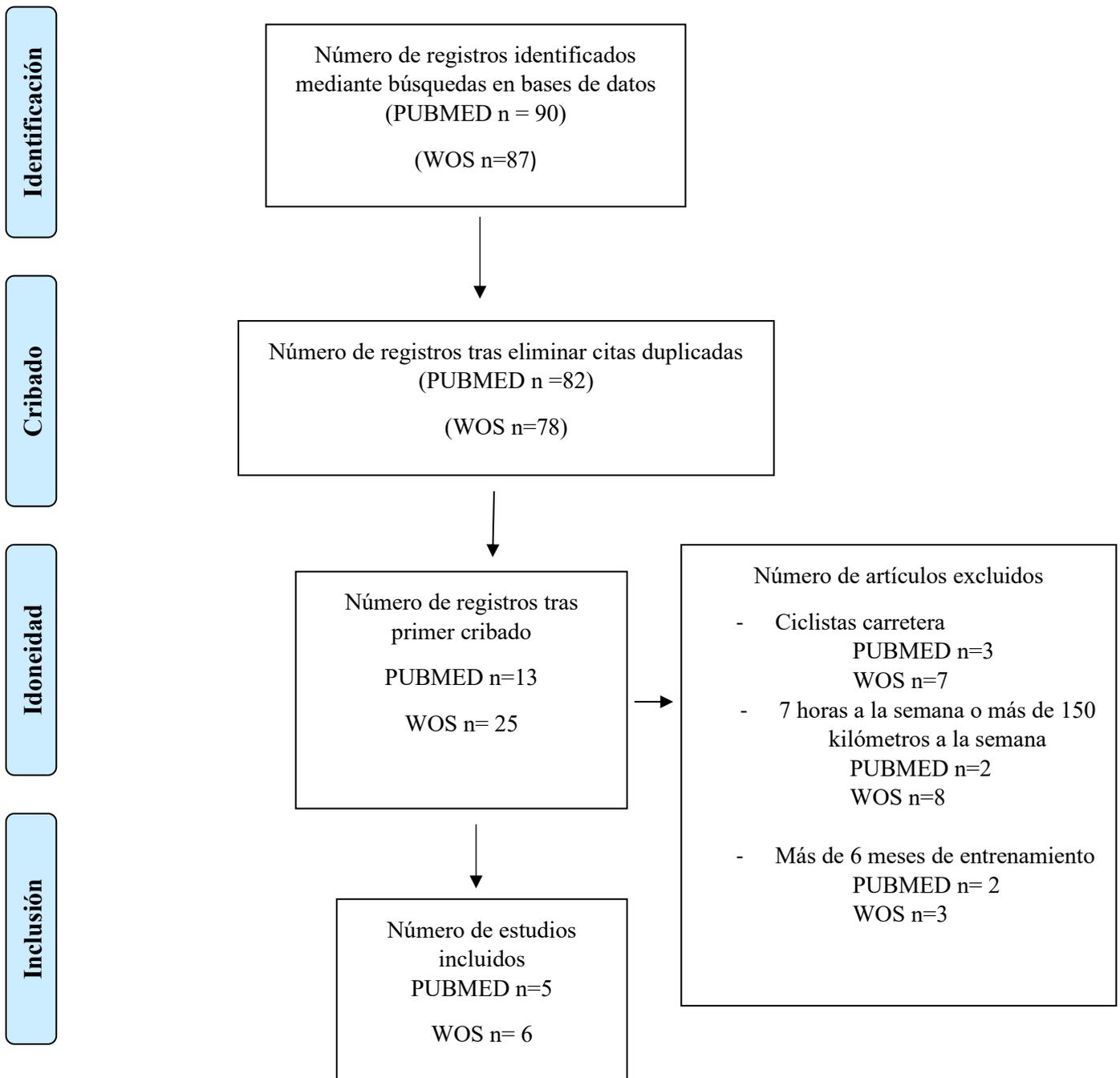
Al ser una muestra muy amplia, se hizo un primer cribado, donde en base a los datos que nos aportaba el título y el resumen (en la mayoría de los casos) y los criterios de inclusión y exclusión fijados (tabla 1), se podría aceptar o descartar el estudio. Una vez se descartaron todos aquellos que no cumplían con estos parámetros, la muestra se redujo únicamente a 13 artículos de PUBMED y 25 de WOS.

Para acotar la muestra y seleccionar finalmente los estudios relevantes, se realizó una lectura rápida de los estudios, de manera que, en base al análisis exhaustivo de estos artículos preseleccionados y la revisión de sus referencias, quedaron únicamente 5 artículos de PUBMED y 8 de WOS.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión

INCLUSIVO	EXCLUSIVO
Humanos	Animales
Ciclistas de carretera con mínimo 6 meses de entrenamiento	Ciclistas de carretera menos de 6 meses de entrenamiento
Media semanal mayor de 150 kilómetros o 7 horas.	Media semanal menor de 150 kilómetros o 7 horas
Entrenamiento de fuerza realizado fuera de bicicleta	Entrenamiento de fuerza en bicicleta

Figura 1. Diagrama de flujo de prisma



RESULTADOS

La tabla 1 del presente Trabajo de Fin de Grado muestra los resultados obtenidos a partir de una detenida revisión realizada de los estudios expuestos. Esta tabla expone de manera concisa y sistemática una síntesis clara de los datos recopilados durante este proceso de investigación, buscando la comprensión clara y precisa de los hallazgos alcanzados en este trabajo.

Tabla 2: Resumen de los estudios incluidos en la revisión sistemática

ESTUDIO	MUESTRA	OBJETO DE ESTUDIO	METODOLOGÍA	PARÁMETROS ANALIZADOS	RESULTADOS	CONCLUSIONES
(Vikmo et al., 2016).	N= 28 ciclistas con más de 4 entrenos semana. S= Femenino. M= Sin entrenamiento de fuerza en los 12 meses previos. Grupo fuerza y resistencia (F+R). Grupo resistencia (R).	Mejoría del rendimiento al agregar entrenamiento de fuerza intenso al entrenamiento de resistencia usual.	11 semanas (2 sesiones). Media sentadilla, prensa piernas una pierna, flexión cadera una pierna y flexión plantar tobillo. 1/3 semana, 10RM-6RM. 4/6 semana, 8RM-5RM. 7/11 semana, 6RM-4RM. Mismo entreno resistencia.	Fuerza máxima. Biopsias musculares. Resonancia magnética del muslo. Lactato en sangre. VO ₂ max. Prueba Wingate.	(F+R) ↑* 1RM prensa. Sin cambios significativos (R). (F+R) ↓* fibras IIX y ↑* IIA. Sin cambios en (R). (F+R) ↑* [La-]. Sin cambios (R). (F+R) ↓* VO ₂ max a potencia de salida de 150 W. Sin cambios (R). (F+R) ↑*W durante test Wingate. Sin cambios (R).	El entrenamiento de fuerza es efectivo para mejorar la fuerza muscular, la composición de fibras musculares, la capacidad de tolerancia al lactato y el rendimiento durante el ejercicio de alta intensidad.
(Ronne stad, Hansen , & Raastad , 2011).	N= 20 ciclistas bien entrenados. S= 11♂, 9♀. M= Sin entrenamiento fuerza 6 meses previos. Grupo fuerza y resistencia (F+R), 11 sujetos.	Agregar entrenamiento de fuerza pesado al entrenamiento de resistencia mejoraría la economía de esfuerzo durante los últimos 5 minutos de una prueba	12 semanas (2 sesiones). Media sentadilla, prensa piernas una pierna, flexión cadera una pierna y flexión plantar tobillo. 1/3 semana, 10RM-6RM.	Fuerza máxima. VO ₂ max. Masa corporal. Wmax.	(F+R) ↑* 1RM sentadilla. Sin cambios (R). ↑* VO ₂ max (F+R) y (R). (F+R) ↑* Masa corporal y Wmax. Test últimos 5 min, mayor ↑ VO ₂ , FC, [La] y RPE, por (F+R) que (R).	(F+R) ↑ rendimiento en los últimos 5 minutos de la prueba, siendo significativa la potencia media, relacionada con ↓ en las puntuaciones de RPE, así como en VO ₂ , FC y [La-].

	Grupo resistencia (R), 9 sujetos.	prolongada(185 min).	4/6 semana, 8RM-5RM. 7/11 semana, 6RM-4RM. (R) y (F+R) mismo entreno resistencia.			
(Louis, Hausswirth, Easthope, & Brisswalter, 2012)	N= 9 ciclistas máster (M) 51,5 ± 5,5 años y 8 jóvenes (J) 25,6 ± 5,9 años. S= Masculino. M= Sin entrenamiento fuerza 12 meses previos.	Probar programa de entrenamiento de fuerza de 3 semanas de extensores de la rodilla sobre la eficiencia de ciclismo en atletas jóvenes y maestro.	3 semanas (3 sesiones). 10 series de 10 extensiones de rodilla 70%RM (30 s/serie con 3 min de recuperación entre series).	Torque máximo. Fuerza de resistencia. Eficiencia ciclismo.	(J) y (M) mayor ↑ torque MVC y eficiencia delta por parte de (M). (M) ↑ eficiencia ciclismo por ↓FC y una tendencia a ↓ ventilación por minuto.	Entrenamiento de fuerza efecto beneficioso en torque MVC y resistencia para ambos grupos. Mayor ↑ grupo M. ↓ diferencias entre grupos.
(Kim et al., 2014)	N= 20 ciclistas en formación. S= Masculino. Grupo fuerza y resistencia (F+R), edad 26,4±2,2 años. Grupo resistencia (R), 27,5 ± 3,0 años).	Analizar el entrenamiento de fuerza en el rendimiento de ciclistas profesionales en formación.	9 semanas (3 sesiones X 60minutos). 3 ejercicios músculos superiores, 2 tronco y 5 músculos inferiores. (R) seguía con su entrenamiento normal.	Composición corporal. Fuerza muscular. Potencia. Contrarreloj 200m y 500m.	(F+R) ↑* índice de masa corporal y fuerza muscular todos segmentos corporales. Sin cambios en (R). Potencia media ↑* (F+R) Y (R). Contrarreloj 200m únicamente mejoro en (R).	En estas circunstancias ↑ beneficioso entreno de resistencia específicamente o sumarle entreno de fuerza.
(Kristoffersen, Sandbak, Ronnes)	N= 26 ciclistas entrenados (29,6 ± 0,6 años). S= 26♂, 2♀.	Comparar los efectos del entrenamiento de sprint (SST) y	6 semanas (3 sesiones). (HST) Media sentadilla, prensa piernas una pierna,	Sprints 6s después de ciclismo prolongado.	Test sprints 6s, (SST) ↑*PPO (Potencia pico) y APO (potencia media) (HST) ↑* en PPO.	(SST) mayor ↑ APO y PPO en pruebas sprint en comparación con (HST), mientras que (HST) mayor ↑ en RM.

<p>tad, & Gunder sen, 2019)</p>	<p>Grupo entrenamiento fuerza pesada (HST). Grupo basado en entrenamientos sprint (SST).</p>	<p>fuerza pesada (HST).</p>	<p>flexión cadera una pierna y flexión plantar tobillo. 1/3 semana, 10RM-6RM. 4/6 semana, 8RM-5RM. 7/11 semana, 6RM-4RM. (SST) bicicleta ergométrica. 1/2 semana sprints 4 y 6s. 3/4 semana sprints 7 y 5s. 5/6 semana sprints 8 y 6s.</p>	<p>Test de sprint de 30s. Test 1RM. VO₂max. Test rendimiento máximo 5min. Wmax.</p>	<p>Test de sprint 30 s, (SST) ↑* PPO y APO (HST) ↑*APO. Test 1RM, (HST) ↑RM media sentadilla, ↓ (SST). (HST) ↑* VO₂max, (SST) sin cambio. Test rendimiento máximo 5min, (SST) y (HST) ↑* APO. Grupo (SST) ↑*Wmax, no se observó cambio en (HST).</p>	<p>No diferencias en cambios relativos en las capacidades de resistencia. (SST) como (HST) adaptaciones específicas difiriendo sus efectos según el objetivo de rendimiento.</p>
<p>(Putal et al., 2020)</p>	<p>N= 1 ciclista entrenado (31 años). S= Masculino. M= Equipo de la universidad del Oeste de Timisoara.</p>	<p>Evaluar el papel del entrenamiento de fuerza en el rendimiento en ciclismo.</p>	<p>12 semanas en el periodo preparatorio.</p>	<p>Umbral de lactato. Fuerza muscular. Potencia máxima.</p>	<p>↑ [la-], RM, y PPO.</p>	<p>Mejora significativa del umbral de lactato, la fuerza muscular y la potencia máxima gracias al entrenamiento de fuerza.</p>
<p>(Rønne stad et al., 2010a)</p>	<p>N= 20 ciclistas. S= Masculino. M= Sin entrenamiento fuerza 6 meses previos.</p>	<p>Investigar efectos beneficios de agregar fuerza al entrenamiento de resistencia, en base al</p>	<p>12 semanas (2 sesiones). Media sentadilla, prensa piernas una pierna, flexión cadera una pierna y</p>	<p>Medición de la CSA del muslo. Fuerza máxima. Lactato en sangre. VO₂max.</p>	<p>(F+R) ↑* CSA del muslo. Sin cambios (R). (F+R) ↑* RM media sentadilla. Sin cambios (R).</p>	<p>Mayores mejoras en grupo de fuerza, ↑ la producción de potencia en 2 mmol [la-], parámetro comúnmente relacionado con el</p>

	Grupo fuerza y resistencia (F+R), edad 27 ± 2 años. Grupo resistencia (R), edad 30 ± 2.	rendimiento ciclista.	flexión plantar tobillo. 1/3 semana, 10RM-6RM. 4/6 semana, 8RM-5RM. 7/11 semana, 6RM-4RM. (R) entrenamiento normal.	Test Wingate 30s y 40min.	(F+R) ↑*Wmax test Wingate 30s. (R) Sin cambios (R). ↑* Wmax test Wingate (F+R) y (R) Mayor ↑ (R) VO ₂ max que (F+R). (F+R) ↑* potencia a 2 mmol[la-]. Sin cambios (R). ↓* FC en salidas potencia.	entrenamiento de resistencia.
(Rønne stad et al., 2010b)	N= 12 ciclistas bien entrenados según criterios Jeukendrup et al (2000). S= Masculino. M= Sin entrenamiento fuerza 12 meses previos. Grupo fuerza y resistencia (F+R), 29 ± 3 años. Grupo resistencia (R), 31 ± 3 años.	Indagar sobre los efectos del entrenamiento de fuerza combinado con el de resistencia en rendimiento.	Periodo preparatorio: 12 semanas (2sesiones). 3 series ejercicio; media sentadilla, prensa con una pierna, extensión de cadera con una pierna y extensión de tobillo. 1/3 semana, 10RM-6RM. 4/6 semana, 8RM-5RM. 7/12 semana, 6RM-4RM. Periodo competición: 13 semanas. 2 series media sentadilla y prensa (80-85%RM) y 1	Medición de CSA del muslo. Fuerza máxima. Lactato en sangre. VO ₂ max. Test Wingate 30s y 40min.	Mayor ↑ CSA del muslo en (F+R) que (R). (F+R) ↑* 1RM sentadilla. Sin cambios (R). Período preparatorio. Mayor ↑ VO ₂ max (R) que (F+R). (F+R) ↑*Wmáx. Sin cambios (R). (F+R) ↑* potencia 2 mmol [la-]. Sin cambios en (R). Mayor ↑ (F+R) PPO test 40 min que (R). ↑ (F+R) APO test 30 s. Sin cambios en (R). (F+R) ↑*de potencia a 2 mmol l -1 [la-]. Sin cambios en (R).	El entrenamiento combinado de fuerza y resistencia mejores ↑ en el tamaño muscular, fuerza y adaptaciones relacionadas con el rendimiento. Estos hallazgos respaldan que la combinación de fuerza y resistencia ofrece beneficios adicionales para el rendimiento en ciclistas.

			serie 6RM de flexión cadera y flexión de tobillo.			
(Gil-Cabrera et al., 2021)	N= 22 ciclistas (19,2 ± 1,4 años), nivel 5 según (Pauw et al 18). S= Masculino. Entrenamiento tradicional (TRT). Entrenamiento de carga con potencia optima (OPT).	Comparar la efectividad del entrenamiento de carga de potencia optima y entrenamiento tradicional.	8 semanas (2 sesiones). Sentadillas, empuje de cadera y split. (TRT) 3x 75%-90% RM, reduciendo de 10 a 4. (OPT) 3x90% de su potencia optima. Ambos grupos mismas sesiones de ciclismo.	Composición corporal. Fuerza muscular. Rendimiento en contrarreloj.	(TRT) ↑* composición corporal (reduce grasa-aumenta masa). (OPT) ↑ composición corporal. Ambos ↑* fuerza para Split. Sin diferencias significativas grupos. Rendimiento en contrarreloj ↑* en ambos grupos. Sin diferencias significativas entre grupos.	(TRT) y (OPT) mejoras similares en la fuerza/potencia de los músculos de las piernas, composición corporal y el rendimiento de resistencia.
(Ji et al., 2022)	N= 24 ciclistas y triatletas. S= Masculino. M= 5000km últimos 2 años. Sin entrenamiento fuerza 6 meses previos. Alternativo unilateral (AUL). Bilateral simultaneo (BIL). Grupo control (CON).	Investigar efectos de entrenamiento de la fuerza en el patrón de movimiento alternativo unilateral y bilateral en la fuerza y en los índices de rendimiento de ciclismo anaeróbico y aeróbico.	10 semanas (2 sesiones). 4x3 prensa, extensión y curl de piernas. 1RM (AUL) o (BIL) del sujeto determinadas en la primera sesión. 60 latidos por minuto fases concéntrica y excéntrica. Grupo (CON) mismo entrenamiento de resistencia.	Fuerza máxima. Concentración de lactato. Prueba de tiempo hasta el agotamiento. Potencia media. VO ₂ max.	(AUL) y (BIL) ↑ prensa y curl de piernas y curl. (BIL) mayor ↑ fuerza en extensión que (AUL). (CON) sin mejoras significativas. [La-] ↓* (AUL), ↑* (BIL) y ↑*(CON). (AUL) ↑*APO, (BIL) y (CON) sin cambios significativos. (AUL) ↑*capacidad de absorción de oxígeno (IA), mientras (BIL) efecto trivial y (CON) cierto deterioro.	Entrenamiento de fuerza con patrón bilateral y unilateral mejoran capacidades de fuerza máxima atletas entrenados. Entrenamiento de fuerza (BIL) más efectivo para la mejora de la transferencia de la fuerza al rendimiento en ciclismo de velocidad.

(Sunde et al., 2010)	N= 13 ciclistas competitivos. S= Masculino. M= Sin entrenamiento fuerza 6 meses previos. Grupo fuerza y resistencia (F+R) 29,9±7,2 años. Grupo resistencia (R) 35,8±11,8 años.	Investigar los efectos del entrenamiento de fuerza máxima en la economía de esfuerzo en ciclistas competitivos.	8 semanas (3 sesiones de 20 minutos). Media sentadilla, 4 series 4 repeticiones, 4RM. (R) entrenamiento normal de resistencia.	Consumo oxígeno. Eficiencia trabajo. VO ₂ max. Tiempo hasta agotamiento. Fuerza máxima.	(F+R) ↑*1RM media sentadilla, RFD, consumo de oxígeno al 70% del VO ₂ max, eficiencia de trabajo y tiempo hasta el agotamiento en la potencia aeróbica máxima previa a la intervención. (R) mayor ↑ eficiencia del trabajo que (F+R).	Un entrenamiento de fuerza mínimo (20min por sesión), va a conseguir mejorar parámetros esenciales para el rendimiento en el ciclismo.
----------------------	--	---	--	--	---	--

N= Número; E: Edad S: Sexo; M: Características; *: estadísticamente significativo [La-]: concentración de lactato; RPE: Tasa de esfuerzo percibido; VO₂: consumo de oxígeno; VO₂max: consumo máximo de oxígeno; FC: frecuencia cardiaca; RPE: tasa de percepción del esfuerzo; RM: repetición máxima; Torque MVC: torque máximo; Wmax: potencia máxima; End: Fuerza de resistencia; CSA: Área sección transversal APO: potencia media; PPO: potencia pico; ♂: sexo masculino; ♀: sexo femenino;

DISCUSIÓN

El objetivo del estudio se basa en revisar la literatura científica que trata sobre el entrenamiento de fuerza y el rendimiento en el ciclismo, para lo que hemos llevado a cabo una estrategia de búsqueda para llegar a una selección de estudios relevantes, todos ellos similares en cuanto a las características metodológicas.

Dentro del estudio existen puntos contrastados con una gran evidencia y sin apenas discusión, como es el aumento de la fuerza máxima en las porciones del cuerpo que se trabajan con entrenamiento de fuerza (Kim et al., 2014), así como el aumento de la producción de fuerza en el patrón de movimiento de la sentadilla (Kristoffersen et al., 2019a; Rønnestad et al., 2010b, 2010a, 2011; Sunde et al., 2010; Vikmoen et al., 2016), o en otros patrones de ejercicio, como es la zancada o split (Gil-Cabrera et al., 2021). Esta relación no debe limitarse únicamente a este aspecto, sino que, es necesario destacar que el incremento de fuerza tiene una relevancia significativa, ya que no solo permite a los ciclistas aplicar más fuerza de manera eficiente en los movimientos específicos del ciclismo, como hacer sprints, sino que también se traduce en un menor esfuerzo percibido (RPE) por los ciclistas y una mayor capacidad para generar fuerza en esfuerzos que anteriormente eran mayores, pudiendo alcanzar con menor demanda física una sensación de fatiga similar, como muestran estudios previos (Rønnestad et al., 2011). Por lo tanto, podemos decir que el desarrollo de la fuerza, además de permitirnos ejercer más fuerza en cada pedalada, también va a tener un impacto en el esfuerzo percibido por el ciclista, siendo totalmente extrapolable al rendimiento.

Es relevante mencionar la concepción generalizada de que el incremento de la fuerza va a producir un aumento de la masa corporal, la cual no es válida. De hecho, se ha demostrado que es posible lograr mejoras significativas en 1 RM, sin experimentar un incremento sustancial en el peso corporal, aumentando en algunos casos un $1,2 \pm 0,4$ %, el cual resulta insignificante en comparación con la ganancia que se consigue a nivel de fuerza, según evidencias previas (Rønnestad et al., 2011). Continuando con esta idea, es relevante destacar que el entrenamiento de fuerza bien ejecutado puede conseguir una recomposición corporal, aumentando la masa muscular y disminuyendo la grasa corporal, sin ocasionar cambios significativos en el peso corporal, como apreciamos en investigaciones previas (Gil-Cabrera et al., 2021; Puta et al., 2020). Por lo tanto, podemos refutar la idea comúnmente asociada del aumento del peso en el ámbito del ciclismo.

Otros hallazgos importantes sumamente destacables es el impacto en el $VO_2\max$, el cual ha sido un punto llevado en varios casos a la controversia por diferentes autores. Nuestra revisión sistemática nos permite extrapolar que, mientras no se encuentran cambios significativos en el $VO_2\max$ tras el entrenamiento de resistencia convencional, el entrenamiento de fuerza sí que ha demostrado aumentar su valor absoluto, lo cual resulta de gran importancia en el contexto del rendimiento del ciclismo (Kristoffersen et al., 2019a; Rønnestad et al., 2010a, 2011; Sunde et al., 2010). Además, se ha observado que este entrenamiento puede llegar a reducir hasta un 3.5 ± 3.1 % el $VO_2\max$ en la potencia de salida de 150W (test Wingate), como se evidencia en investigaciones previas (Vikmoen et al., 2016).

Continuando indagando en los parámetros más relevantes en el ciclismo, resulta imperativo mencionar la concentración de lactato, un marcador con gran importancia en el ciclismo, el cual se ha asociado tradicionalmente con el trabajo en entrenamientos de resistencia. No obstante, los estudios analizados evidencian algo peculiar, mostrando que este también se ve afectado gracias al aumento de la potencia por la vía del entrenamiento de fuerza. De hecho, es importante mencionar que se ha demostrado que la incorporación de entrenamiento de fuerza conlleva una mayor ganancia en la potencia tras la realización de los test de 30 segundos y 40 minutos de Wingate que el entrenamiento de resistencia (Vikmoen et al., 2016; Puta et al., 2020; Rønnestad et al., 2010b; Rønnestad et al., 2010a; Sunde et al., 2010). Lo cual también está respaldado por otros artículos que nos muestran como añadir ejercicios de fuerza va a conseguir unas grandes mejoras, llegando incluso a $9,4 \pm 2,9$ en el test de 30 segundos (Rønnestad et al., 2010a) o $8 \pm 2\%$ (Rønnestad et al., 2010b), ambos aumentos relevantes para decidirse una prueba ciclista y, que en el caso de buscar conseguirlos mediante el entrenamiento de resistencia únicamente, sería muy costoso y prolongado en el tiempo, no como en este caso, donde en 12 semanas se llega a conseguir. Continuando con las concentraciones de lactato, gracias a la ganancia de potencia y al entrenamiento de fuerza, como ya hemos aclarado, vamos a conseguir desplazar el perfil de lactato [la-] hacia la derecha, reduciéndose la producción de lactato en momentos de mayor potencia, y por lo tanto consiguiendo un mejor rendimiento, logrando pasar de 242 ± 10 a 251 ± 10 W y de 253 ± 16 W a 284 ± 13 W, como nos muestran (Rønnestad et al., 2010b, 2010a) respectivamente. Además, otros autores nos muestran descensos de las concentraciones de lactato tras un entrenamiento de fuerza; $7,6 \pm 12,0\%$ (Vikmoen et al., 2016) o de $13,2\%$ (Puta et al., 2020).

Otro parámetro importante que destacar es la frecuencia cardíaca, el cual no ha sido tan ampliamente estudiado en relación al entrenamiento de fuerza, ya que, normalmente se asocia con el entrenamiento de resistencia. Sin embargo, este tipo de entrenamiento también tiene un impacto en la frecuencia cardíaca, provocando variaciones en sus parámetros. Se ha observado una disminución de 6 ± 1 latidos en las potencias de 125 a 275W, permitiendo asociar estos resultados a la mejora del rendimiento en ciclismo en base a la eficiencia cardiovascular (Rønnestad et al., 2010b, 2010a, 2011). Estos hallazgos sugieren que gracias al entrenamiento de fuerza vamos a conseguir mantener la frecuencia cardíaca más baja en las diferentes intensidades de esfuerzo, pudiendo llegar a ser un factor fundamental más en el ciclismo.

En el contexto del ciclismo es relevante mencionar la influencia del entrenamiento de fuerza en la composición de las fibras musculares. Estudios han demostrado que su composición gracias al entrenamiento de fuerza va a variar significativamente, reduciéndose la proporción de fibras IIX y aumentando la de fibras IIA (Vikmoen et al., 2016). Estos resultados chocan con la concepción tradicional en la que existía la idea de que las fibras musculares IIX son más relevantes en el ciclismo, dado que, por su capacidad de generar una alta potencia, se creía que estas tenían un papel primordial y por lo tanto mejoraban el rendimiento (Coyle et al., 1992). Sin embargo, investigaciones indican que la transición del tipo de fibra muscular del tipo IIX-IIA es un posible mecanismo beneficioso para mejorar la utilización fraccionada del $VO_2\text{max}$ y la economía de esfuerzo, representando así dos de los factores principales para la mejora del rendimiento del ciclista (Vikmoen et al., 2016). Por tanto, los resultados obtenidos respaldan la idea de que, a pesar de que las fibras IIX sean importantes para generar

potencia, las adaptaciones que se producen con entrenamientos de fuerza hacia un perfil de fibras más lentas como las IIA, tiene un impacto positivo en la eficiencia del ciclismo.

También es importante abordar los beneficios que tendrá el entrenamiento de fuerza para personas de una mayor edad (máster). Debemos tener en cuenta que, existe una disminución significativa en la producción de torque máximo de contracción con el envejecimiento a pesar del entrenamiento de resistencia regular, (Bieuzen et al., 2010; Louis et al., 2009), así como en el área transversal del músculo (Häkkinen & Keskinen, 1989) y en la composición de la fibra muscular hacia un fenotipo de contracción más bajo (Lexell, 1995), provocando por tanto una disminución significativa en la eficiencia del pedaleo (eficiencia delta). De esta manera, será importante considerar que, gracias a una intervención de fuerza, el torque máximo de contracción aumente un 17,8% en el grupo de ciclistas de edad avanzada (masters), mientras que un 5,9 % en el grupo de personas jóvenes, destacando también que este aumentó antes en los maestros (semana 3) que en los jóvenes (post). Además, se observó un incremento significativo en la eficiencia del pedaleo (eficiencia delta) en los ciclistas de edad avanzada (+13,8 %), mientras que solo fue una tendencia en los jóvenes (+4,1 %), (Louis et al., 2012).

Por consiguiente, se puede inferir que, tras el periodo de entrenamiento, las diferencias relacionadas con la edad en la capacidad de generación de torque máximo y delta se redujeron, verificando el efecto beneficioso del entrenamiento combinado de resistencia y fuerza en atletas de edades dispares.

En el ámbito en el que nos encontramos también es importante destacar que el entrenamiento de fuerza es uno más de los entrenamientos posibles, pero existen otros

muy importantes, como es el entrenamiento a base de sprints, el cual a priori es un gran reclamo en el mundo del ciclismo. Cuando lo analizamos en detalle, observamos que este no va a ser tan determinante como el entrenamiento de fuerza para conseguir un aumento en la fuerza absoluta, no obstante, este va a generar mejores beneficios en la potencia media y potencia pico en los sprints, en comparación con el entrenamiento de fuerza, afectando por esta vía a parámetros como la frecuencia cardiaca o la producción de lactato, como evidencian artículos previos (Kristoffersen et al., 2019a). Estos resultados sugieren que el entrenamiento de sprint va a tener un impacto positivo en el rendimiento. En este sentido, siguiendo el principio de especificidad, se muestra que cada entrenamiento tiene adaptaciones específicas difiriendo su efecto según el objetivo de rendimiento. Por lo tanto, es importante comprender de manera precisa como emplear y estructurar los diferentes tipos de entrenamiento, considerando sus aplicaciones y funciones, ya que ello influirá significativamente en los resultados obtenidos.

Adicionalmente, es muy destacable que el entrenamiento de fuerza se encuentra intrínsecamente ligado a la mejora de parámetros del rendimiento del ciclismo. Sin embargo, resulta indispensable tener presente que los entrenamientos de fuerza deben estar diseñados y planificados de una manera efectiva, ya que estamos hablando de un trabajo a largo plazo, donde cada sesión de entrenamiento está enfocada de una manera diferente, buscando al final conseguir un cómputo que consiga el resultado que queremos obtener. Por ejemplo, con el entrenamiento buscamos poder llegar a disminuir concentraciones de lactato a las 12 semanas en comparación con el principio de la intervención, pero realmente estas incrementaran significativamente respecto a los valores iniciales a las 25 semanas, como evidencian (Rønnestad et al., 2010b). Además, debemos concebir que el entrenamiento de fuerza no va a incrementar los parámetros de

forma aislada, sino que esto se basa en un balance entre varios pilares (Rønnestad et al., 2010b).

Una vez expuestas parte de las grandes ventajas que el entrenamiento de fuerza puede proporcionar, es importante mencionar su aplicabilidad. En base a los estudios, se ha observado que la inclusión de un plan de entrenamiento más prolongado en el tiempo con menor carga semanal tiene un impacto positivo. Aunque encontramos estudios con menos de 6 semanas y 3 sesiones, que muestran resultados positivos (Kristoffersen et al., 2019a; Louis et al., 2012), podemos inferir gracias a otros estudios que, realizar un programa de entrenamiento más extendido y con menos carga, será más óptimo para los resultados, ya que, muestra un gran impacto de menor prevalencia de lesiones en los integrantes del entrenamiento (Ji et al., 2022; Kim et al., 2014; Rønnestad et al., 2010a, 2010b; Vikmoen et al., 2016).

En cuanto a la selección de ejercicios, no se han encontrado diferencias significativas entre el uso de ejercicios unilaterales o bilaterales, si bien que el entrenamiento bilateral puede tener un efecto ligeramente más positivo en la transferencia de la fuerza al rendimiento en momentos de grandes velocidades (Ji et al., 2022). Además, debemos tener en cuenta que los ejercicios multiarticulares van a tener una mayor transferencia al ciclismo (Kristoffersen et al., 2019a; Louis et al., 2012; Rønnestad et al., 2010b, 2010a; Vikmoen et al., 2016). Por lo tanto, la elección entre uno u otros ejercicios será dependiente de las preferencias individuales, siempre teniendo en cuenta estas referencias.

En cuanto a la intensidad, se ha encontrado beneficioso tanto periodizar la intensidad de los ejercicios desde el 70%-90%RM incrementando durante las semanas (Gil-Cabrera et

al., 2021; Louis et al., 2012; Rønnestad et al., 2011), como aumentar la carga cada tres semanas, desde 10RM-6RM, 8RM-5RM hasta 6RM-4RM (Kristoffersen et al., 2019a; Rønnestad et al., 2010a, 2010b; Vikmoen et al., 2016).

En relación al volumen, observamos que es más beneficioso utilizar un número de series bajo (2-4) e incrementar el número de ejercicios (Kim et al., 2014; Kristoffersen et al., 2019a; Rønnestad et al., 2011), en lugar de realizar un único ejercicio con un gran número de series (Louis et al., 2012). Ambos enfoques pueden ser beneficiosos, pero el segundo tanto desde el punto de vista psicológico como físico será más útil.

Para terminar, es importante resaltar algunas limitaciones en cuanto a la metodología y selección de los estudios.

Como primera y fundamental limitación ha sido el idioma de los estudios, los cuales se redujeron al español y el inglés por falta de conocimiento de otras lenguas. Por otro lado, es relevante señalar que la búsqueda se limitó únicamente a dos bases de datos, pudiendo ser esto un factor restrictivo, el cual podría haber ocasionado omisión de información relevante para el posterior análisis. También debemos tener en cuenta que la búsqueda bibliográfica se realizó solo por parte de un autor, por lo que pueden verse representados factores como es el sesgo de selección, el mayor riesgo de sesgo personal, así como la falta de verificación de los artículos.

Por otro lado, respecto al contenido de los estudios seleccionados, es relevante la heterogeneidad que existe entre ellos, tanto en metodología, intervención... como por ejemplo las duraciones de las intervenciones, y es que, comúnmente cuando hablamos de un entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento en el ciclismo, hacemos

referencia a un entrenamiento prolongado en el tiempo. No obstante, hemos encontrado estudios que no muestran esto, como es el caso de (Kristoffersen et al., 2019a), donde se centraron únicamente en una intervención de 6 semanas. Esta particularidad puede provocar un sesgo en este estudio, ya que, hablamos de un tiempo muy reducido, el cual además de ser escaso para producir hipertrofia, se le suma que cuando al entrenamiento de fuerza se combina con una cantidad relativamente grande de entrenamiento de resistencia, todavía disminuye más la velocidad con la que se produce la hipertrofia muscular (Kraemer & Ratamess, 2004).

Por lo tanto, a priori podríamos decir que la hipertrofia posiblemente se haya visto limitada en el tiempo, siendo así un factor totalmente determinante en este estudio, ya que, un aumento de la hipertrofia se relaciona directamente con un mejor rendimiento de la velocidad de ejecución (Rønnestad et al., 2010a; Vikmoen et al., 2016).

En este contexto, reitero la importancia de seguir los principios de especificidad, buscando usar diferentes entrenamientos para diferentes objetivos, pero siempre teniendo en cuenta un espíritu crítico, el cual nos ayude a entender como pautar los diferentes tipos de entrenamiento.

CONCLUSIONES

En conclusión, basándonos en la revisión de la literatura científica, podemos afirmar que existen evidencias que apoyan los beneficios del entrenamiento de fuerza en diversos aspectos vinculados con el rendimiento, como son las siguientes:

- El entrenamiento de fuerza está totalmente vinculado de manera positiva con la hipertrofia y la fuerza muscular, así como la composición de las fibras musculares, la capacidad de tolerancia al lactato, la potencia en umbrales específicos de lactato, el VO₂max y el rendimiento durante el ejercicio de alta intensidad, tomando importancia tanto para pruebas prolongadas en el tiempo, como para momentos oportunos donde se necesite una gran potencia, como son los últimos 5 minutos de una prueba.
- Una buena programación del entrenamiento de fuerza será primordial, buscando en cada momento de la preparación hacer hincapié en unos parámetros u otros, así como teniendo en cuenta cuáles serán los puntos fuertes y débiles de la programación de fuerza, pudiendo así optimizar el rendimiento que consigamos con esta.
- Debemos aplicar el entrenamiento de fuerza de la manera más adecuada posible, incluyendo un programa prolongado en el tiempo con menor carga semanal. Donde los ejercicios principalmente sean multiarticulares y de manera bilateral, realizándose un número mayor de ejercicios (3-4) con un número bajo de series (3-4) y con una intensidad alrededor del 80% que aumente gradualmente.

Estas conclusiones muestran que el entrenamiento de fuerza es beneficioso en varios aspectos relacionados con el rendimiento, así como que su inclusión en un programa de entrenamiento va a conseguir proporcionar mejoras significativas en el rendimiento. Sin embargo, debemos tener en cuenta que los resultados pueden variar dependiendo de las

características individuales de los ciclistas, así como las metodologías utilizadas en los estudios.

CONCLUSIONS

In conclusion, based on the review of the scientific literature, we can state that there is evidence supporting the benefits of strength training in various aspects linked to performance, such as the following:

- Strength training is totally linked in a positive way with hypertrophy and muscle strength, as well as muscle fiber composition, lactate tolerance capacity, power at specific lactate thresholds, VO_2 max and performance during high intensity exercise, taking importance both for prolonged tests in time, as well as for opportune moments where great power is needed, such as the last 5 minutes of a test.
- A good strength training programming will be essential, seeking at each moment of the preparation to emphasize some parameters or others, as well as taking into account what will be the strengths and weaknesses of the strength programming, thus being able to optimize the performance we get with this.
- We must apply the strength training in the most appropriate way possible, including a prolonged program in time with less weekly load. Where the exercises are mainly multi-articular and bilateral, performing a greater number of exercises (3-4) with a low number of series (3-4) and with an intensity around 80% that increases gradually.

These conclusions show that strength training is beneficial in several aspects related to performance, as well as that its inclusion in a training program will provide significant improvements in performance. However, we must keep in mind that the results may vary depending on the individual characteristics of the cyclists, as well as the methodologies used in the studies.

REFERENCIAS

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 20 Suppl 2(SUPPL. 2)*, 39–47. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2010.01197.X>
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J. L., Christensen, L. R., & Aagaard, P. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md: 1985)*, 99(1), 87–94. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00091.2005>
- Bastiaans, J. J., Van Diemen, A. B. J. P., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. E. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 86(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s004210100507>
- Bieuzen, F., Hausswirth, C., Louis, J., & Brisswalter, J. (2010). Age-related changes in neuromuscular function and performance following a high-intensity intermittent task in endurance-trained men. *Gerontology*, 56(1), 66–72. <https://doi.org/10.1159/000262286>
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M., & Carey, M. F. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 886–891. <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00018>
- Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2017). Concurrent exercise training: do opposites distract? *The Journal of Physiology*, 595(9), 2883–2896. <https://doi.org/10.1113/JP272270>
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of Type I muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(7), 782–788. <https://doi.org/10.1249/00005768-199207000-00008>
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(2), 145–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737020-00004>
- Gibala, M. (2009). Molecular responses to high-intensity interval exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 34(3), 428–432. <https://doi.org/10.1139/H09-046>
- Gil-Cabrera, J., Valenzuela, P. L., Alejo, L. B., Talavera, E., Montalvo-Pérez, A., Lucia, A., & Barranco-Gil, D. (2021). Traditional versus optimum power load training in professional cyclists: A randomized controlled trial. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(4), 496–503. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0130>

- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *International Journal of Sports Medicine*, *9*(5), 316–319. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1025031>
- Groennebaek, T., & Vissing, K. (2017a). Impact of resistance training on skeletal muscle mitochondrial biogenesis, content, and function. *Frontiers in Physiology*, *8*(SEP), 713. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2017.00713/BIBTEX>
- Groennebaek, T., & Vissing, K. (2017b). Impact of Resistance Training on Skeletal Muscle Mitochondrial Biogenesis, Content, and Function. *Frontiers in Physiology*, *8*(SEP), 713. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2017.00713>
- Häkkinen, K., & Keskinen, K. L. (1989). Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *59*(3), 215–220. <https://doi.org/10.1007/BF02386190>
- Hauswirth, C., Argentin, S., Bieuzen, F., Le Meur, Y., Couturier, A., & Brisswalter, J. (2010). Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, *20*(2), 330–339. <https://doi.org/10.1016/J.JELEKIN.2009.04.008>
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md: 1985)*, *65*(5), 2285–2290. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1988.65.5.2285>
- Jeukendrup, A. E., & Martin, J. (2001). Improving cycling performance: how should we spend our time and money. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *31*(7), 559–569. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131070-00009>
- Ji, S., Donath, L., & Wahl, P. (2022). Effects of Alternating Unilateral vs. Bilateral Resistance Training on Sprint and Endurance Cycling Performance in Trained Endurance Athletes: A 3-Armed, Randomized, Controlled, Pilot Trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *36*(12), 3280–3289. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004105>
- Kim, S. H., Hwang, B. Y., Son, Y., Song, S. J., Lee, Y. Bin, & Lee, D. T. (2014). Impact of Strength Training on Body Composition, Physical Fitness, and Performance of Professional Cycle Racing Trainees. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *46*, 936. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000496311.18611.16>
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>
- Kristoffersen, M., Sandbakk, Ø., Rønnestad, B. R., & Gundersen, H. (2019a). Comparison of short-sprint and heavy strength training on cycling performance. *Frontiers in Physiology*, *10*(AUG). <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.01132>

- Kristoffersen, M., Sandbakk, Ø., Rønnestad, B. R., & Gundersen, H. (2019b). Comparison of Short-Sprint and Heavy Strength Training on Cycling Performance. *Frontiers in Physiology*, *10*(AUG). <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2019.01132>
- Levin, G. T., McGuigan, M. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained endurance cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(8), 2280–2286. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181B990C2>
- Lexell, J. (1995). Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *50* Spec No(SPEC. ISSUE), 11–16. https://doi.org/10.1093/GERONA/50A.SPECIAL_ISSUE.11
- Louis, J., Hausswirth, C., Bieuzen, F., & Brisswalter, J. (2009). Muscle strength and metabolism in master athletes. *International Journal of Sports Medicine*, *30*(10), 754–759. <https://doi.org/10.1055/S-0029-1231046>
- Louis, J., Hausswirth, C., Easthope, C., & Brisswalter, J. (2012). Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(2), 631–640. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-2013-1>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2000). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II: Long term insufficient training stimulus. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *30*(3), 145–154. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030030-00001>
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *59*(4), 310–319. <https://doi.org/10.1007/BF02388334>
- Puta, T., Babaita, M., Negrea, C., Mirica, S. N., Domokos, C., Domokos, M., . . . Bota, E. (2020). Is the strength training a key for performance in cycling? - A case study. *Proceedings of the 6th International Conference of Universitaria Consortium Fefstim: Physical Education, Sports and Kinesiotherapy - Implications in Quality of Life*, 31-36.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010a). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(5), 965–975. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1307-z>
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010b). In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance. *European Journal of Applied Physiology*, *110*(6), 1269–1282. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1622-4>
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *21*(2), 250–259. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0838.2009.01035.X>

- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and Hypertrophy Adaptations Between Low- vs. High-Load Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(12), 3508–3523. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002200>
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(8), 2157–2165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a>
- Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO₂max and cycling economy in female cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *26*(4), 384–396. <https://doi.org/10.1111/SMS.12468>
- Warburton, D. E. R., Gledhill, N., Jamnik, V. K., Krip, B., & Card, N. (1999). Induced hypervolemia, cardiac function, VO₂max, and performance of elite cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *31*(6), 800–808. <https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00007>
- Warburton, D. E. R., Gledhill, N., & Quinney, H. A. (2000). Blood volume, aerobic power, and endurance performance: potential ergogenic effect of volume loading. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, *10*(1), 59–66. <https://doi.org/10.1097/00042752-200001000-00011>