



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE SORIA

GRADO EN FISIOTERAPIA

TRABAJO FIN DE GRADO

**“ADAPTACIONES MUSCULOTENDINOSAS EN EL ENTRENAMIENTO CON
RESTRICCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO EN EL MIEMBRO INFERIOR: UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA”**

Presentado por: Javier Beruete Arpón

Tutor: Ricardo Medrano de la Fuente

Soria, a 27 de JUNIO de 2023

RESUMEN

Introducción: El ejercicio físico tiene efectos positivos en la salud. Ha demostrado reducir el riesgo de muerte prematura y la posibilidad de padecer enfermedades crónicas, así como prevenir lesiones del sistema musculoesquelético, donde mejora la fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia. Tradicionalmente, el ejercicio de resistencia se ha llevado a cabo con altas cargas de entrenamiento, las cuales pueden resultar perjudiciales en ciertos grupos poblacionales. El ejercicio físico asociado al entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo puede ser una alternativa al entrenamiento de resistencia tradicional.

Objetivos: Conocer las adaptaciones musculotendinosas derivadas del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en el miembro inferior en cuanto a fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia. Además, se planteó conocer los efectos de este entrenamiento en cuanto a dolor muscular y esfuerzo percibido y sus formas de aplicación más efectivas.

Metodología: Se realizó una revisión sistemática siguiendo los criterios PRISMA. Se llevaron a cabo búsquedas en las bases de datos Medline (Pubmed), Web of Science, Cochrane Library, Scopus y PEDro. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados con población sana menor de sesenta y cinco años de edad, que realizasen entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.

Resultados: Se seleccionaron un total de doce ensayos clínicos aleatorizados y un análisis secundario. Los estudios mostraron que el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo asociado a baja intensidad fue superior al entrenamiento de resistencia de baja intensidad en fuerza, hipertrofia y resistencia y superior al entrenamiento de alta intensidad en relación a esfuerzo percibido, mostrando efectos similares cuando se comparaba con el entrenamiento de resistencia de alta intensidad para la fuerza, hipertrofia, rigidez, resistencia y dolor.

Conclusión: Los resultados de esta revisión muestran que el entrenamiento con RFS es eficaz para obtener beneficios en cuanto a fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia en las estructuras musculotendinosas del miembro inferior. Sin embargo, la información obtenida es insuficiente para establecer una conclusión respecto a las variables dolor y esfuerzo percibido, así como para determinar un protocolo de entrenamiento que sea más eficaz.

Palabras clave: “entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo”, “miembro inferior”, “fuerza”, “hipertrofia”.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	8
3. OBJETIVOS	9
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
4.1. DISEÑO DEL ESTUDIO	9
4.2. SELECCIÓN DE LOS ARTÍCULOS.....	9
4.2.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	9
4.2.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	10
4.3. ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LOS DATOS	10
5. RESULTADOS	10
5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS	11
5.2. CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ESTUDIOS	12
5.3. EFECTOS TERAPÉUTICOS	15
6. DISCUSIÓN.....	24
7. CONCLUSIÓN	27
8. BIBLIOGRAFÍA.....	27
APÉNDICE A. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntuación escala PEDro de los estudios incluidos.	14
Tabla 2. Características de los estudios.	17
Tabla 3. Características del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo.	13
Figura 2. Riesgo de sesgo presentado en porcentaje según los criterios cumplidos de la escala PEDro.	15

LISTADO DE ABREVIATURAS

CSA	Área de sección transversal
MCV	Contracción voluntaria máxima
ECA	Ensayo clínico aleatorizado
ERAI	Entrenamiento de resistencia de alta intensidad
ERBI	Entrenamiento de resistencia de baja intensidad
EPC	Entrenamiento con el peso corporal
VAS	Escala visual analógica
VEGF	Factor de crecimiento endotelial vascular
GH	Hormona del crecimiento
LCA	Ligamento cruzado anterior
PC	Peso corporal
RF	Recto femoral
RM	Repetición máxima
RFS	Restricción del flujo sanguíneo
VL	Vasto lateral

1. INTRODUCCIÓN

El ejercicio físico ha demostrado ser necesario en la promoción de la salud de las personas. La actividad física, ya sea en el día a día para realizar las actividades básicas de la vida diaria como durante el tiempo de ocio, se considera imprescindible para el desarrollo humano y la salud de las personas (1).

El ejercicio físico ha demostrado tener efectos terapéuticos preventivos. La actividad física llevada a cabo de manera rutinaria ha mostrado reducir en gran medida el riesgo de muerte prematura, así como el riesgo de padecer diferentes enfermedades crónicas entre las que destacan la diabetes mellitus tipo II, hipertensión, diferentes enfermedades osteoarticulares, problemas cardiovasculares y neoplasias, como el cáncer de colon y de mama (2). Por otro lado, el ejercicio físico regular ha demostrado disminuir el riesgo de padecer demencia en la vejez, así como mejorar el rendimiento cognitivo en aquellas personas que ya padecen enfermedades neurológicas como Alzheimer o Parkinson. También se han visto efectos positivos del ejercicio durante el periodo gestacional en relación al riesgo de padecer diabetes gestacional, un aumento desproporcionado del peso, así como depresión puerperal. Además, en niños y adolescentes se han visto beneficios en relación a la salud cardiovascular, muscular y ósea, así como fomentar el rendimiento escolar y la salud mental de los mismos (1).

Igualmente, el ejercicio físico juega un papel muy importante en la prevención de lesiones y enfermedades del sistema musculoesquelético. Se ha demostrado que una buena condición del sistema musculotendinoso en el miembro inferior contribuye a reducir el riesgo de padecer enfermedades como la osteoartritis de rodilla (3), sarcopenia en adultos mayores (4), así como lesiones en deportistas tales como esguinces de tobillo y roturas del complejo ligamentoso de la rodilla (5). Respecto a las estructuras musculotendinosas del miembro inferior, se ha visto que el ejercicio físico mejora la fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia de las estructuras musculares y tendinosas (6,7). Los beneficios derivados de la realización de ejercicio físico son consecuencia de las adaptaciones moleculares que tienen lugar en todo el organismo. Estas adaptaciones al entrenamiento también tienen lugar en el sistema musculoesquelético, donde la metilación del ADN, las modificaciones postraduccionales de las proteínas histonas y la regulación de la expresión génica a través ARN específicos son las que determinan los cambios epigenéticos (8).

Existen diferentes tipos de ejercicio físico mediante los cuales se pueden conseguir estas adaptaciones musculotendinosas (9), dentro de los cuales el entrenamiento de resistencia es el más utilizado para conseguirlas (10). El colegio americano de medicina deportiva recomienda que el entrenamiento de resistencia se lleve a cabo por encima del 60% de una repetición máxima (RM) para lograr ganancias significativas. Para lograr dichos beneficios, el ejercicio de resistencia se basa principalmente en el estrés mecánico (9). Unas cargas elevadas de entrenamiento pueden resultar perjudiciales en aquellos grupos de personas donde las capacidades físicas no sean óptimas, donde se pueden incluir la vejez y aquellas personas que se encuentran en un proceso de rehabilitación quirúrgica, así como en personas sanas donde estas cargas suponen un estrés mecánico y procesos inflamatorios en articulaciones y tejidos musculotendinosos (11,12). Sin embargo, se ha evidenciado que la tensión mecánica no es la única manera de conseguir estas adaptaciones. Una alternativa se encuentra en la utilización del estrés metabólico inducido por el ejercicio, donde la acumulación de metabolitos tiene un papel más importante que la tensión mecánica aplicada

(11). Para ello, surge el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (RFS) asociado a baja intensidad, en el cual se restringe tanto el aporte sanguíneo como el retorno venoso de la extremidad (12), permitiendo realizar un entrenamiento con cargas menores eliminando los riesgos del entrenamiento de resistencia de alta intensidad (ERAI) aislado. La hipoxia ha demostrado contribuir a los incrementos en hipertrofia muscular incluso en ausencia de ejercicio y tener un efecto sinérgico en la hipertrofia muscular cuando se combina con ejercicio (11), disminuir la atrofia muscular en pacientes encamados de manera significativa (13), prevenir la pérdida de fuerza y disminuir las pérdidas en el área de sección transversal de los músculos durante un periodo de inmovilización y descarga (14).

Se ha visto que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad proporciona resultados similares al ERAI en adultos mayores (15) así como en población diagnosticada de osteoartritis y artritis reumatoide (16). Además, en pacientes intervenidos de ligamento cruzado anterior (LCA) se ha visto que el entrenamiento con RFS asociada a baja intensidad permite trabajar en fases precoces con resultados positivos respecto al ERAI (17). También se han visto efectos similares en cuanto a fuerza en comparación con ERAI en personas sanas jóvenes (18) y en fuerza e hipertrofia en adultos de más de 40 años de edad (19). A pesar de ello, no existe ninguna revisión sistemática que analice las adaptaciones musculares y tendinosas derivadas del entrenamiento con RFS en el miembro inferior en un rango de edad que comprende desde los dieciocho hasta los sesenta y cinco años. Por otro lado, como consecuencia del aumento de estudios al respecto, se hace necesario recopilar la nueva información.

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la importancia de la práctica regular de ejercicio físico para la promoción de la salud, así como para la prevención de lesiones y enfermedades del sistema musculoesquelético se hace necesario encontrar un método de entrenamiento adecuado para toda la población. Tradicionalmente se ha realizado ERAI, cuyas cargas pueden ocasionar un estrés y situaciones de inflamación de riesgo para las articulaciones (11). Durante los últimos años, ha aumentado el uso del entrenamiento con RFS debido a sus escasos efectos secundarios sobre los tejidos, el cual permite entrenar con cargas bajas (7).

Actualmente hay varias revisiones que estudian los efectos del entrenamiento con RFS en personas con diversas patologías, en adultos mayores sanos y en deportistas (15–19). Sin embargo, no hay revisiones sistemáticas que analicen los resultados en relación a las adaptaciones musculotendinosas, además de incluir una población que vaya desde los dieciocho hasta los sesenta y cinco años de edad. Por ello, con el fin de unificar los efectos del entrenamiento con RFS en el tejido musculotendinoso del miembro inferior en población sana en edad activa, se ve necesaria la realización del presente Trabajo Fin de Grado con la intención de aportar la evidencia científica más actualizada que reúna información al respecto.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue conocer las adaptaciones musculotendinosas derivadas del entrenamiento con RFS en miembro inferior en cuanto a fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia.

Como objetivos secundarios, se planteó conocer los efectos del entrenamiento con RFS en relación a la sensación de esfuerzo percibido y dolor muscular durante la realización del ejercicio, así como conocer las formas de aplicación más efectivas del entrenamiento con RFS en el miembro inferior.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica basándose en los criterios establecidos por la declaración PRISMA (preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis) (20).

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo hasta abril de 2023 en las bases de datos Medline (Pubmed), Web of Science, Cochrane Library, Scopus y Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Para llevar a cabo la búsqueda se empleó la combinación de los siguientes Medical Subjects Heading (MeSH): “blood flow restriction therapy”, “lower extremity”, “quadriceps muscle”, “hamstring muscles” y “achilles tendon”, unidos mediante los operadores booleanos AND y OR. Se revisó el título y resumen de todos los artículos que fueron obtenidos de las bases de datos y aplicó los criterios de inclusión y exclusión anteriormente descritos para llevar a cabo la elección de los artículos. Para evitar la pérdida de posibles estudios potenciales, se llevó a cabo una revisión manual de las listas bibliográficas de los estudios incluidos. No se estableció ninguna fecha límite de publicación. La estrategia de búsqueda fue adaptada a las características de cada base de datos y se muestra con detalle en el Apéndice A.

4.2. SELECCIÓN DE LOS ARTÍCULOS

4.2.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Se incluyeron los artículos que cumpliesen los siguientes criterios de inclusión basados en la pregunta PICO:

- Población: sujetos sanos menores de 65 años de edad.
- Intervención: entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo asociado a entrenamiento.
- Comparación: cualquier otro tipo de entrenamiento o la no intervención.
- Resultados: fuerza, hipertrofia, rigidez, resistencia, dolor y esfuerzo percibido.
- Diseño del estudio: ensayos clínicos aleatorizados (ECAs).
- Idioma: español o inglés.

4.2.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se excluyeron los estudios si se cumplía alguno de los siguientes criterios:

- Si los sujetos presentaban alguna patología en el momento del estudio o previa al estudio en la estructura relacionada con el estudio.
- No fuese un ECA.
- Si durante el estudio se llevaba a cabo otro entrenamiento que implicase la estructura relacionada con el estudio.
- Estudios que no analizaran los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.
- La calidad metodológica era inferior a 5 en la escala PEDro.

4.3. ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LOS DATOS

Para documentar los estudios y añadir información sobre el diseño de los mismos, así como el tamaño de la muestra y las características de los sujetos, los protocolos de tratamiento, las variables dependientes y los métodos de medición y los resultados obtenidos, se utilizó la lista de verificación PRISMA (20).

Para evaluar la calidad metodológica de los estudios se utilizó la escala PEDro, la cual supone una medida fiable sobre la calidad de los ensayos clínicos, con una alta consistencia interna (0.53), una fiabilidad inter-observador de 0.40-0.75 y test-retest 0.99 (21). La escala PEDro consta de once ítems, con un valor total de 10 en relación a los criterios que se cumplen, suponiendo una mayor calidad la puntuación más alta. El criterio 1 de la escala es un criterio adicional relacionado con la validez externa que no se tiene en cuenta para la puntuación final. Una puntuación superior a siete se considera una calidad metodológica “alta”, mientras que una calificación de cinco o seis supone una calidad “aceptable” y un resultado igual o inferior a cuatro se considera de “pobre calidad” (21).

5. RESULTADOS

Tras la búsqueda, se obtuvieron mil novecientos dieciséis artículos en total de las bases de datos que fueron analizadas (quinientos noventa y nueve en Medline, diecinueve en PEDro, doscientos noventa y ocho en Scopus, trescientos cuarenta y seis en Cochrane Libray y seiscientos cincuenta y cuatro en Web of Science). Tras eliminar los duplicados se obtuvieron mil doscientas diecinueve referencias, de las cuales se revisó título y resumen descartando aquellas que no cumplieran los criterios de inclusión de la presente revisión, obteniendo un total de diecinueve estudios relevantes para su revisión a texto completo. Por último, tras el análisis a texto completo, un total de trece artículos fueron incluidos en esta revisión, de los cuales uno era un análisis secundario (22). El proceso de selección de los artículos anteriormente descrito se refleja en la figura 1.

5.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS

Se examinaron un total de doscientos noventa y ocho participantes en los estudios incluidos en esta revisión, de los cuales doscientos diecisiete fueron hombres y ochenta y uno fueron mujeres. En relación al tamaño muestral de los estudios, siete de ellos incluyeron un tamaño muestral de entre veinte y treinta sujetos (12,23–28), tres ECAs (29–31) y un análisis secundario (22) incluyeron una muestra por encima de los treinta sujetos y únicamente dos artículos estudiaron menos de veinte participantes (32,33). Los estudios fueron realizados en Europa (22–26,28–30,32), América (12,31) y Asia (27,33).

El entrenamiento con RFS se asoció a la baja intensidad en once estudios (12,22,31,23–30), mientras que dos estudios (32,33) asociaron el entrenamiento con RFS al peso corporal (PC). Entre los estudios incluidos, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad se desarrolló de manera heterogénea: tres estudios (22,27,30) emplearon una carga del 20% de 1RM, otro estudio utilizó un 25% de 1RM (25), en cuatro (12,26,28,31) se realizó al 30% de 1RM, mientras que tres de los estudios llevaron a cabo una carga ascendente desde el 20% de 1RM hasta el 35% de 1RM (23,24,29). Dos estudios no especificaron el porcentaje de RM sobre el que se trabajó, ya que los ejercicios se realizaron con el propio PC (32,33). Respecto al tamaño de los manguitos oclusivos, se observaron diferencias independientemente del lugar donde se llevase a cabo la oclusión: cinco estudios utilizaron manguitos de una anchura inferior a ocho centímetros (12,26,27,32,33), mientras que los ocho estudios restantes usaron estos manguitos con una anchura igual o superior a los doce centímetros (22–25,28–31). En relación a la presión de oclusión, cuatro artículos emplearon una oclusión arterial igual o inferior al 60% del flujo sanguíneo (23,24,26,29), mientras que otros tres estudios utilizaron una oclusión del 80% (12,28,31). Dos estudios (22,30) utilizaron 110 mmHg de manera constante mientras que otro estudio (27) llevó a cabo una presión de oclusión ascendente desde 160 mmHg hasta 230 mmHg. Tan solo un estudio (25) adaptó la presión según el tamaño del muslo de cada sujeto, variando entre 150 y 210 mmHg. Un estudio (32) determinó la presión de oclusión según la percepción de cada sujeto (siete sobre diez en una escala donde el diez es el máximo de presión tolerable). Por último, un estudio (33) no especificó la presión utilizada.

La frecuencia, el número de sesiones y la duración total varió entre los diferentes estudios. En cinco se realizaron dos sesiones por semana durante seis semanas (12,26,28,31,32). El resto de estudios propusieron tres sesiones a la semana durante cuatro semanas (25), cinco semanas (27,30), seis semanas (33), y los tres restantes durante catorce semanas (23,24,29). Además, un estudio midió los resultados tras solo una sesión de entrenamiento (22).

Tres estudios (12,25,26) compararon el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad con sujetos que realizaron entrenamiento de resistencia de baja intensidad aislado (ERBI). Por otra lado, cuatro estudios (23,24,28,29) compararon los efectos del entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad con un grupo que realizó ERAI, mientras que un estudio comparó el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad con ERBI y ERAI (31). Por otra parte, un ensayo (30) y el estudio secundario derivado de él (22) realizaron dos volúmenes de entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad, donde un grupo realizaría el doble de sesiones que el otro, y los comparó frente al ERAI. Dos estudios compararon los efectos del entrenamiento con RFS asociados al PC con el entrenamiento aislado de peso corporal (EPC) aislado (32,33). Por último, un estudio comparó el entrenamiento con RFS asociado a baja

intensidad con el entrenamiento en condiciones de hipoxia inducida mediante máscara de gas (27).

Respecto a las variables dependientes y las herramientas utilizadas para su medición se obtuvieron los siguientes resultados: cinco estudios evaluaron la fuerza dinámica de flexión plantar, mediante el test de 1RM (23,26,29,30) o mediante dinamometría (12). Cinco artículos midieron la fuerza dinámica de extensión de rodilla, a través del test de 1RM (24,32) y a través de sistemas electrónicos de medición directos (12,27,33). La fuerza dinámica de flexión de rodilla fue valorada por tres estudios, los tres mediante sistemas electrónicos de medición directos (12,27,33). Dos estudios midieron la contracción voluntaria máxima (MVC) de flexión plantar, uno mediante dinamometría (29) y otro mediante electromiografía de superficie (25). El MVC para la flexión y la extensión de la rodilla fue valorado por dos estudios, uno mediante cálculos realizados a través de valores de fuerza obtenidos previamente (33) y otro mediante electromiografía de superficie (31). Dos estudios midieron el diámetro del muslo a través de cinta métrica (12,33), mientras que un artículo lo midió mediante imágenes obtenidas por ultrasonidos (32). Un ECA y su análisis secundario midieron el grosor muscular del recto femoral (RF) y el vasto lateral (VL) mediante imágenes obtenidas por ultrasonidos (22,30). Dos estudios midieron el diámetro de la pantorrilla a través de cinta métrica (12,26) mientras que un estudio (25) midió el grosor muscular de esta región mediante ultrasonidos. Dos estudios valoraron el área de sección transversal (CSA) del tendón de Aquiles, uno mediante resonancia magnética (23) y el otro a través de imágenes obtenidas por ultrasonidos (29). Un estudio midió el CSA del músculo gastrocnemio en su porción medial mediante imágenes obtenidas mediante ultrasonidos (29). Dos estudios (24,27) utilizaron la resonancia magnética para la obtención de imágenes; en uno de ellos (24) se midió el CSA del RF y del tendón rotuliano, mientras que en otro estudio (27) se midió el CSA de los músculos flexores y extensores de rodilla. La rigidez del tendón rotuliano fue valorada como la pendiente de la curva fuerza-elongación entre el 50 y el 80% del MVC por un estudio (24). Dos estudios examinaron la rigidez del tendón de Aquiles a través de contracciones isométricas observadas mediante ultrasonidos (29) y a través de una prueba de salto vigilada por un sistema de toma de imágenes fotocelular (26). Cuatro ensayos estudiaron la resistencia muscular mediante el número máximo de repeticiones; dos estudios midieron la resistencia de los extensores de rodilla (27,31), y otros dos de los flexores (12,27). El dolor fue valorado por dos estudios (26,28) a través de la escala visual analógica (VAS). Un estudio midió el esfuerzo percibido a través de la escala de esfuerzo percibido de Borg (28).

Toda la información recopilada sobre los estudios incluidos en esta revisión se encuentra en las tablas 2 y 3.

5.2. CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ESTUDIOS

Del total de los trece artículos seleccionados para llevar a cabo la presente revisión, diez (22–24,26–32) obtuvieron una puntuación igual o superior a siete puntos en la escala PEDro, resultando en una calidad metodológica alta. Tres artículos (12,25,33) obtuvieron una calificación de seis, presentando una calidad aceptable. Ningún estudio realizó un cegamiento de los terapeutas que llevaron a cabo el entrenamiento de los diferentes grupos. La calidad metodológica de los estudios incluidos se muestra en la tabla 1. La figura 2 muestra el riesgo de sesgo de cada uno de los estudios.

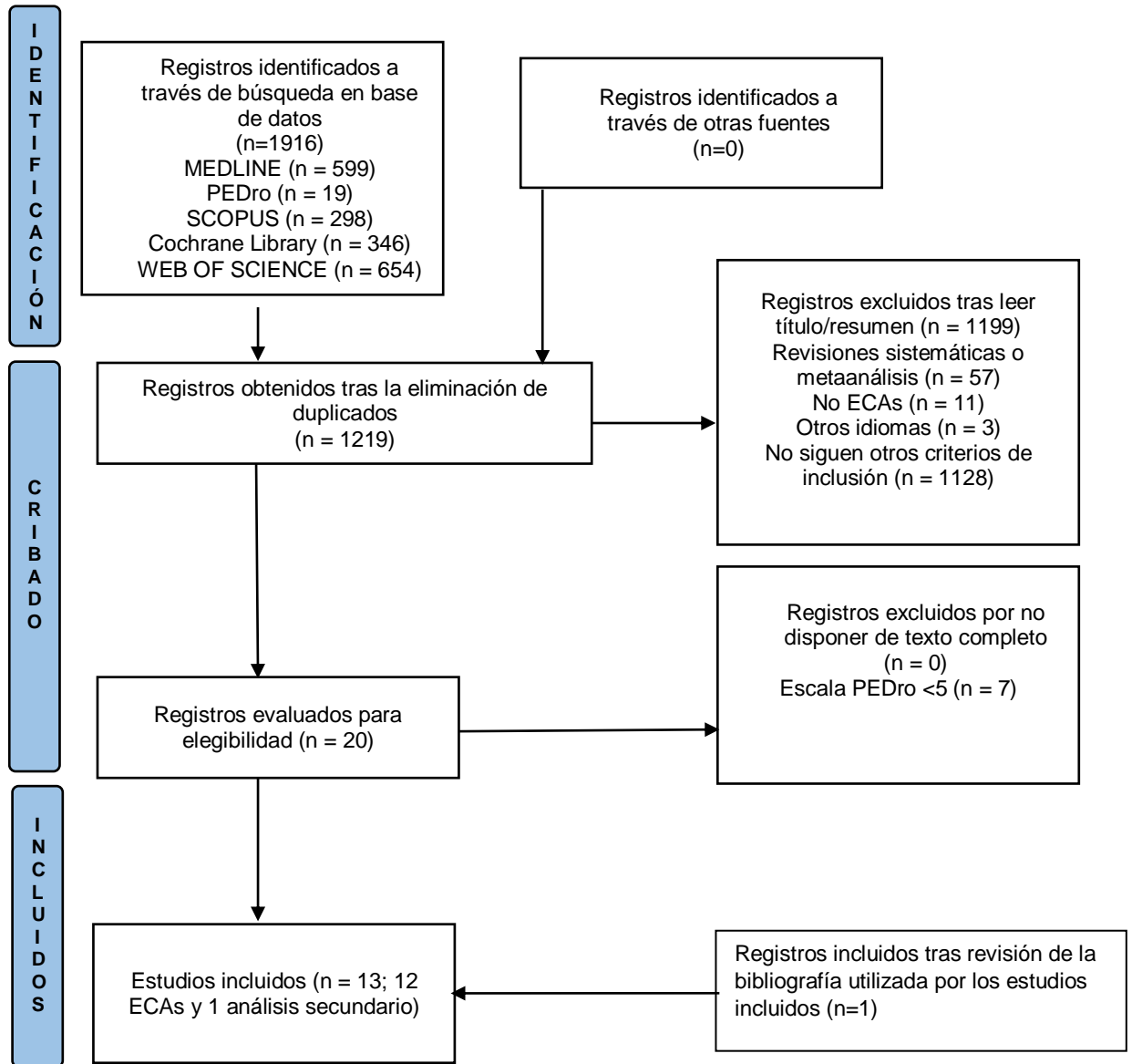


Figura 1. Diagrama de flujo.

Tabla 1. Puntuación escala PEDro de los estudios incluidos.

Referencia	Ítems											Total	Calidad
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Bowman, E. 2019 (12)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6/10	Aceptable
Centner, C. 2023 (23)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10	Alta
Centner, C. 2022 (24)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10	Alta
Centner, C. 2019 (29)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10	Alta
Colomer-Poveda, D. 2017 (25)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6/10	Aceptable
Gavanda, S. 2020 (26)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	7/10	Alta
Head, P. 2015 (32)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10	Alta
Kang, D. 2015 (33)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	6/10	Aceptable
Manimmanakorn, A. 2013 (27)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10	Alta
Martín-Hernández, J. 2017 (28)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7/10	Alta
Martín-Hernández, J. 2013 (30)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7/10	Alta
Martín-Hernández, J. 2013 (22)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7/10	Alta
Sousa, J. 2017 (31)	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10	Alta

1. Los criterios de elección fueron especificados.
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos.
3. La asignación fue oculta.
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes.
5. Todos los sujetos fueron cegados.
6. Todos los terapeutas fueron cegados.
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados.
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos.
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar".
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave.
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

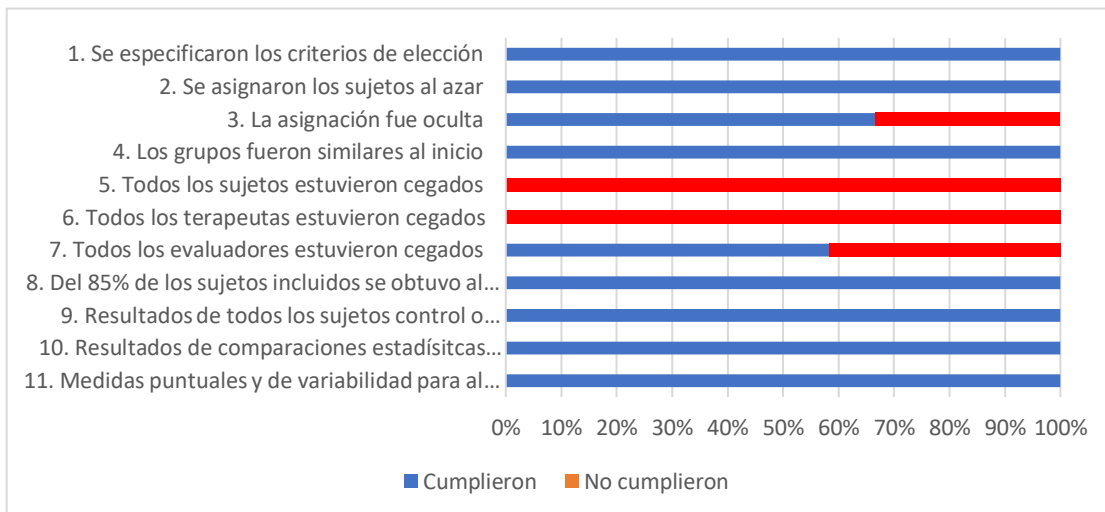


Figura 2. Riesgo de sesgo presentado en porcentaje según los criterios cumplidos de la escala PEDro.

5.3. EFECTOS TERAPÉUTICOS

Fuerza

Tres estudios observaron que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad fue superior al ERBI tanto para la fuerza de flexión como de extensión de rodilla (12,27,31). Además, un estudio mostró efectos positivos del entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad respecto al ERAI en la fuerza de flexo-extensión de rodilla (31). Un estudio mostró efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado al PC y el EPC para la fuerza dinámica de flexión de rodilla (33). Respecto a la fuerza de extensión de rodilla, un estudio mostró efectos positivos entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y ERAI en cadena cinética cerrada, mientras que mostró efectos similares en cadena cinética abierta (24) y otros dos estudios mostraron efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado al PC y el EPC (32,33). Por otro lado, un estudio (30) mostró que el ERAI fue superior a dos volúmenes diferentes de entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad.

Respecto a la fuerza de flexión plantar, dos estudios mostraron que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad fue superior al ERBI (12,26), mientras que tres estudios mostraron efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y el ERBI (25) y el ERAI (23,29).

Hipertrofia

En seis estudios se midió la hipertrofia del muslo. Uno de ellos mostró que el entrenamiento con RFS asociado al PC fue superior al EPC (33) mientras que otros dos estudios mostraron que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad fue superior al ERBI (12,27). Un estudio mostró efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado al PC y el EPC (32) mientras que otros dos estudios mostraron efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y ERAI (24,30). Por otro lado, tras una sesión de entrenamiento (22), se vio que ERAI y el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad de alto volumen fueron superiores al entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad de bajo volumen para hipertrofia del RF, mientras que se vieron efectos similares en la hipertrofia del VL.

En cuatro estudios se valoró la hipertrofia de la musculatura de la pantorrilla. Bowman et al. (12) mostró efectos positivos para el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad

en comparación con el ERBI. Sin embargo, tres estudios mostraron resultados similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y el ERBI (25,26) y ERAI (29).

Dos estudios valoraron el CSA del tendón de Aquiles (23,29) mostrando ambos efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y ERAI. El CSA del tendón rotuliano fue valorado por un estudio (24) donde el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad tuvo resultados similares al ERAI.

Rigidez

Dos estudios mostraron efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y ERAI en el tendón rotuliano (24) y en el tendón de Aquiles (29), mientras que un estudio mostró efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y el ERBI en el tendón de Aquiles (26).

Resistencia

Cuatro estudios mostraron que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad fue superior al ERBI (12,26,27,31); un estudio (26) determinó los efectos positivos en la musculatura de flexión plantar, otro en la flexión de rodilla (12) y los otros dos en la musculatura de flexión y extensión de rodilla (27,31). Además, Sousa et al. (31) mostró efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y el ERAI para la flexo-extensión de rodilla.

Dolor muscular percibido durante el entrenamiento

Un estudio mostró resultados similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y ERAI en el dolor relacionado con el ejercicio (28), mientras que otro estudio mostró un aumento en la intensidad del dolor en el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad en comparación con ERBI (26).

Esfuerzo percibido

Un estudio mostró que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad suponía menos esfuerzo que ERAI (28).

Tabla 2. Características de los estudios.

Autor y año	Muestra (n) edad media y género hombre/mujer	Intervención	Variables estudiadas	Métodos de medición	Resultados
Bowman, E. 2019 (12)	(n=26) 27 ± 3.4 años. 10/16	G1: RFS 30%1RM. G2: sin RFS.	Fuerza: flexión y extensión de rodilla y flexión plantar. Hipertrofia: muslo y pantorrilla. Resistencia: flexores rodilla.	Dinamometría. Nº de repeticiones. Cinta métrica.	G1RFS>G2 hipertrofia de muslo y pantorrilla y fuerza. G1RFS>G1noRFS hipertrofia de muslo y pantorrilla, fuerza de flexión plantar y resistencia.
Centner, C. 2023 (23)	(n=29) G1: 27.6 ± 4.3 años. (n=15) G2: 28.4 ± 4.9 años. (n=14) 29/0	G1: ERAI 70%1RM → 85%1RM. G2: RFS 20%1RM → 35%1RM.	Fuerza: flexión plantar. Hipertrofia: tendón de Aquiles.	Resonancia magnética. Test de 1RM.	G1=G2 en fuerza y CSA.
Centner, C. 2022 (24)	(n=29) G1:27.6 ±4.3 años. (n=15) G2: 28.4 ± 4.9 años. (n=14) 29/0	G1: ERAI 70%1RM → 85%1RM. G2: RFS 20%1RM → 35%1RM.	Fuerza: extensión de rodilla. Hipertrofia: cuádriceps y tendón rotuliano. Rigidez: tendón rotuliano.	Resonancia magnética Dinamometría.	G1=G2 en fuerza ejercicio “Leg Press”, rigidez y CSA del tendón rotuliano e hipertrofia de cuádriceps. G2>G1 en ejercicio “Knee Extension”.
Centner, C. 2019 (29)	(n=38) G1: 26.1 ± 4.2 años. (n=14). G2: 27.1 ± 4.7 años. (n=11) G3: 30.5 ± 5.7 años. (n=13) 38/0	G1: ERAI 70%1RM → 85%1RM. G2: RFS 20%1RM → 35%1RM. G3: CON: sin ejercicio.	Fuerza: flexión plantar. Hipertrofia: gastrocnemio medial derecho y tendón de Aquiles. Rigidez: tendón de Aquiles.	Test de 1RM. Dinamometría. Imágenes por ultrasonido. MVC.	G1=G2 en fuerza, hipertrofia y resistencia del tendón.

Colomer-Poveda, D. 2017 (25)	(n=22) G1: 24.8 ± 2.9 años. (n=8) G2: 23.8 ± 2.5 años. (n=7) G3: 21.5 ± 3 años. (n=7) 22/0	G1: CON: sin ejercicio. G2: RFS 25%1RM. G3: ERBI 25%1RM.	Fuerza e hipertrofia de sóleo.	Electromiografía de superficie. Imágenes por ultrasonidos.	G2=G3 en fuerza e hipertrofia.
Gavanda, S. 2020 (26)	(n=21) G1: 27.33 ± 7.0 años. (n=12) G2: 28.9 ± 7.4 años. (n=9) 21/0	G1: RFS 30%1RM. G2: ERBI 30% 1RM.	Fuerza: flexión plantar. Hipertrofia: pantorrilla. Rigidez: tendón de Aquiles. Resistencia: flexores plantares. Dolor percibido en la primera sesión.	Nº de repeticiones. Test 1RM. Cinta métrica. Imágenes por ultrasonidos. Prueba de salto. VAS.	G1=G2 en fuerza, hipertrofia y rigidez. G1>G2 en resistencia y fuerza. G1>VAS que G2.
Head, P. 2015 (32)	(n=11) G1: 26.0 ± 4.0 años. (n=7) G2: 24.8 ± 0.9 años. (n=4) 3/8	G1: RFS asociado al PC. G2: EPC.	Fuerza: extensión de rodilla. Hipertrofia: muslo.	Dinamometría. Imágenes por ultrasonido.	G1=G2 para fuerza e hipertrofia.
Kang, D. 2015 (33)	(n=17) G1: 24.0 ± 3.2 años. (n=10) G2: 26.8 ± 4.6 años. (n=7) 5/12	G1: RFS asociado al PC. G2: EPC.	Fuerza: flexión y extensión de rodilla. Hipertrofia: muslo.	Test de 1RM. Cinta métrica.	G1>G2 en diámetro del muslo. G1=G2 fuerza de flexores y extensores.

Manimmanakorn, A. 2013 (27)	(n=30) G1: n=10. G2: n=10. G3: n=10. 0/30	G1: ERBI con mascara de hipoxia 20%1RM. G2: RFS 20%1RM. G3: ERBI 20%1RM.	Fuerza: flexión y extensión de rodilla. Hipertrofia: muslo. Resistencia: flexores y extensores de rodilla.	Electromiografía de superficie. Resonancia magnética. Nº de repeticiones.	G1=G2>G3 en fuerza, hipertrofia y resistencia.
Martín-Hernández, J. 2017 (28)	(n=28) G1: 21.0 ± 1.0 años. (n=14) G2: 21.0 ± 1.0 años. (n=14) 28/0	G1: RFS 20%1RM. G2: ERAI 85%1RM.	RPE. Dolor percibido.	Borg Exertion. VAS.	G2 mayor RPE que G1. G1=G2 VAS.
Martín-Hernández, J. 2013 (30)	(n=39) G1: 20.3 ± 1.1 años. (n=10) G2: 21.1 ± 2.0 años. (n=10) G3: 20.7 ± 2.3 años. (n=11) G4: 20.2 ± 0.8 años. (n= 8) 39/0	G1: RFS 20%1RM y bajo volumen. G2: RFS 20%1RM y alto volumen. G3: ERAI 85%1RM. G4: CON: sin ejercicio.	Fuerza: flexión y extensión de rodilla. Hipertrofia: cuádriceps.	Test de 1RM. Imágenes por ultrasonidos.	G3 > G1 y G2 en fuerza. G1=G2=G3 en hipertrofia.
Martín-Hernández, J. 2013 (22)	(n=31) G1: 20.3 ± 1.1 años. (n=10) G2: 21.1 ± 2.0 años. (n=10) G3: 20.7 ± 2.3 años. (n=11)	G1: RFS 20%1RM y bajo volumen. G2: RFS 20%1RM y alto volumen. G3: ERAI 85%1RM.	Hipertrofia: RF y VL.	Imágenes por ultrasonidos.	G2 y G3 > G1 hipertrofia RF. G1=G2=G3 hipertrofia VL.

Sousa, J. 2017 (31)	(n=37) G1: 20.73 ± 3.79 años. (n=11) G2: 23.70 ± 4.90 años. (n=10) G3: 24.75 ± 4.86 años. (n=8) G4: 22.38 ± 2.61 años. (n=8) 22/15	G1: ERAI 80%1RM. G2: RFS 30%1RM. G3: ERAI + RFS 30%1RM. G4: ERBI 30%1RM.	Fuerza: extensión de rodilla. Resistencia: extensores de rodilla.	Electromiografía de superficie. Test de 1 RM. Nº de repeticiones.	G3=G1 fuerza isométrica y resistencia. G3>G1 en fuerza máxima. G2=G1 fuerza isométrica y resistencia. G2>G1 fuerza máxima. G2>G4 fuerza isométrica, resistencia y fuerza máxima.
---------------------------	---	--	--	--	---

G1: grupo de intervención 1; G2: grupo de intervención 2; G3: grupo de intervención 3; G4: grupo de intervención 4; CON: grupo control; RFS: restricción del flujo sanguíneo; ERAI: entrenamiento de resistencia de alta intensidad; ERBI: entrenamiento de resistencia de baja intensidad; PC: peso corporal; EPC: entrenamiento con el peso corporal; 1RM: una repetición máxima; CSA: área de sección transversal; MVC: contracción máxima voluntaria; VAS: escala visual analógica; RPE: esfuerzo percibido; seg.: segundos.

Tabla 3. Características del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.

Autor y año	Intervención	Protocolo de entrenamiento y frecuencia de las sesiones	Frecuencia y duración	Número total de sesiones
Bowman, E. 2019 (12)	G1: una extremidad realizó entrenamiento con RFS y la otra sin RFS al 30%1RM. G2: entrenamiento sin RFS en ambas extremidades al 30%1RM.	G1: 1 serie de 30 repeticiones y 3 series de 15 repeticiones, con 30 segundos de descanso entre series. G2: mismo protocolo que el G1.	2 sesiones/semana durante 6 semanas	12
Centner, C. 2023 (23)	G1: ERAI 70%1RM → 85%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 20%1RM → 35%1RM.	G1: 4 series para cada ejercicio; la primera de 30 repeticiones y las otras 3 de 15 repeticiones. G2: mismo protocolo que G1. Ambos grupos realizaron elevaciones en sedestación de los músculos de la pantorrilla.	3 sesiones/semana durante 14 semanas	42
Centner, C. 2022 (24)	G1: ERAI 70%1RM → 85%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 20%1RM → 35%1RM.	G1: 4 series para cada ejercicio; la primera de 30 repeticiones y las otras 3 de 15 repeticiones. G2: mismo protocolo que G1.	3 sesiones/semana 14 semanas	42
Centner, C. 2019 (29)	G1: ERAI 70%1RM → 85%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 20%1RM → 35%1RM. G3: CON: sin ejercicio.	G1: 4 series para cada ejercicio; la primera de 30 repeticiones y las otras 3 de 15 repeticiones. G2: mismo protocolo que G1.	3 sesiones/semana 14 semanas	42
Colomer-Poveda, D. 2017 (25)	G1: CON: sin ejercicio. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 25%1RM. G3: ERBI 25%1RM.	G1: sin intervención. G2: 4 series (la primera de 30 reps. y las otras 3 de 15 reps.) al 25%1RM, con 30 seg. de descanso entre series. G3: misma intervención G2.	3 sesiones/semana 4 semanas	12

Gavanda, S. 2020 (26)	G1: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 30%1RM. G2: ERBI 30% 1RM.	G1: 4 series de elevaciones de pantorrillas hasta el fallo muscular en SD con un descanso de 30 seg. entre series con 2 seg. excéntricos y 2 seg. concéntricos.	2 sesiones/semana 6 semanas	12
Head, P. 2015 (32)	G1: entrenamiento con RFS asociado al PC. G2: EPC.	G1: 4 series de zancadas frontales hasta la fatiga con RFS. G2: 4 series de zancadas frontales hasta la fatiga sin RFS.	2 sesiones/semana 6 semanas	12
Kang, D. 2015 (33)	G1: entrenamiento con RFS asociado al PC. G2: EPC.	G1: sentadillas y zancadas frontales a un RPE 11-13. G2: mismo protocolo que G1.	3 sesiones/ semana 6 semanas	18
Manimmanakorn, A. (27)	G1: ERBI con mascara de hipoxia 20%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 20%1RM. G3: ERBI 20%1RM.	G1: 3 series de flexión de rodilla y 3 series de extensión de rodilla al 20%1RM en un rango de 22-28 reps. G2 y G3 mismo protocolo que G1.	3 sesiones/semana 5 semanas	15
Martín-Hernández, J. 2017 (28)	G1: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 20%1RM. G2: ERAI 85%1RM.	G1: 4 series (la primera de 30 reps. y las otras 3 de 15 reps.) con un descanso de 60 seg. entre series. G2: 3 series de 8 reps. con 60 seg. de descanso entre series. Ambos grupos realizaron 2 seg. excéntricos y 2 seg. concéntricos.	2 sesiones/semana 6 semanas	12

Martín-Hernández, J. 2013 (30)	G1: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y bajo volumen 20%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y alto volumen 20%1RM. G3: ERAI 85%1RM. G4: CON: sin ejercicio.	G1: 1 serie de 30 reps. y 3 series de 15 reps. al 20%1RM. G2: 2 veces el protocolo de G1. G3: 3 series de 8 reps. al 85%1RM.	3 sesiones/semana 5 semanas	15
Martín-Hernández, J. 2013 (22)	G1: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y bajo volumen 20%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y alto volumen 20%1RM. G3: ERAI 85%1RM.	G1: 1 serie de 30 reps. y 3 series de 15 reps. al 20%1RM. G2: 2 veces el protocolo de G1. G3: 3 series de 8 reps. al 85%1RM.	3 sesiones/semana 5 semanas	15
Sousa, J. 2017 (31)	G1: ERAI 80%1RM. G2: entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad 30%1RM. G3: ERAI + entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad. G4: ERBI 30%1RM.	G1: 4 series al 80%1RM con un descanso de 2 min. entre series. G2: 4 series al 30%1RM con 30 seg. de descanso entre series. G3: combinó de manera alternante una sesión ERAI (4 series 80%1RM) con una sesión de RFS asociado a baja intensidad (4 series 30%1RM) G4: 4 series al 30%1RM con un descanso de 30 seg. entre series.	2 sesiones/semana 6 semanas	12

G1: grupo de intervención 1; G2: grupo de intervención 2; G3: grupo de intervención 3; G4: grupo de intervención 4; CON: grupo control; RFS: restricción del flujo sanguíneo; ERAI: entrenamiento de resistencia de alta intensidad; ERBI: entrenamiento de resistencia de baja intensidad; PC: peso corporal; EPC: entrenamiento con el peso corporal; 1RM: una repetición máxima; seg.: segundos.

6. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión fue conocer las adaptaciones musculotendinosas obtenidas a través del entrenamiento con RFS en miembro inferior en sujetos sanos en cuanto a fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia. Además, también se pretendió analizar el dolor muscular durante la realización del entrenamiento y la sensación de esfuerzo percibido.

El entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha demostrado efectos superiores al ERBI para la fuerza, mientras que los efectos fueron similares al compararlo con el ERAI o el EPC. Respecto a la hipertrofia se han visto resultados controvertidos entre diferentes grupos musculares, mientras que en relación al área de sección transversal y la rigidez de los tendones se han visto efectos similares entre el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad y el ERAI. En cuanto a la resistencia, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha mostrado efectos superiores al ERBI. Por otro lado, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha mostrado disminuir el esfuerzo percibido en comparación con el ERAI, con efectos similares en cuanto al dolor muscular percibido al realizar las sesiones de ejercicio. Sin embargo, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha mostrado valores de dolor más elevados que el ERBI.

El entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha demostrado su eficacia en la ganancia de fuerza tanto de flexión y extensión de rodilla como de flexión plantar de tobillo. Se sabe que el aumento de la fuerza muscular, asociado a las adaptaciones neuromusculares y al reclutamiento de las unidades motoras, se puede lograr mediante la aplicación de la tensión mecánica debida a altas cargas de entrenamiento (9). Sin embargo, estas ganancias en la fuerza también se pueden lograr mediante la aplicación del estrés metabólico (11) en situaciones de hipoxia en las que el retorno venoso se encontrase enlentecido (13). Esta situación de hipoxia, junto con el estrés metabólico, ha demostrado aumentar el reclutamiento de las fibras rápidas y la adaptación neuromuscular (34). Por ello, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad puede ser una alternativa al ERAI para aumentar la fuerza muscular. Por otro lado, esto puede ser interesante en pacientes que no pueden ser sometidos a un elevado estrés mecánico, como pueden ser pacientes con artropatías crónicas y personas de edad avanzada (35). En estos pacientes, el déficit de fuerza muscular es clave para el desarrollo de sarcopenia (4), por lo que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad puede ser también una alternativa de tratamiento en la mejora de la fuerza muscular. Según Center, C. et al. (36), el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad como tratamiento de la sarcopenia consigue un mayor aumento de fuerza muscular en adultos mayores que el ERBI. Otro grupo vulnerable a la pérdida de fuerza, con la consiguiente debilidad que eso conlleva, son los pacientes con rotura del LCA ya que, tras someterse a su reconstrucción, se estima que hasta un 30% padecen déficit de fuerza muscular (17). Tras la intervención quirúrgica, estos pacientes no pueden soportar cargas elevadas de entrenamiento, por lo que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad supone una alternativa terapéutica en estos sujetos. Koc et al (17) ha demostrado que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad es un entrenamiento eficaz para el aumento de fuerza en la musculatura extensora de rodilla en pacientes con rotura de LCA.

La pérdida de masa muscular está directamente relacionada con la aparición de algunas patologías (4). El entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha demostrado ser eficaz en la hipertrofia de la musculatura encargada de la flexo-extensión de rodilla y en la

musculatura encargada de la flexión plantar de tobillo. El incremento de la masa muscular está directamente relacionado con el aumento de la tensión muscular, lo cual tiene lugar durante el entrenamiento de resistencia, en el que se produce la ruptura de las bandas Z pertenecientes al sarcómero y la remodelación de las proteínas que forman la fibra muscular (37). Tras el entrenamiento, tiene lugar un proceso de proliferación de células satélite y síntesis proteica que provocan el aumento de masa muscular (38). Sin embargo, los mecanismos que tienen lugar durante el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad no dependen de la carga aplicada durante el entrenamiento, sino de la hipoxia generada por la restricción del flujo, la cual provoca la acumulación de metabolitos aumentando la concentración en plasma de la hormona del crecimiento (GH) y de lactato, así como la proliferación de células satélite (13) lo que puede provocar en sujetos sanos el aumento de masa muscular ayudando a prevenir la aparición de enfermedades. En patologías como la artritis reumatoide o la osteoartritis de rodilla se ha visto una pérdida importante de masa muscular con un aumento de miostatina y un severo déficit en la activación de células satélite (4). Se ha visto que el entrenamiento con RFS inhibe la liberación de miostatina, así como ayuda a la liberación y diferenciación de células satélite (34), por lo que puede suponer una herramienta terapéutica de elección en estos pacientes.

Además, tal y como reflejan los estudios incluidos, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad mejora el área de sección transversal y la rigidez del tendón rotuliano y del tendón de Aquiles. El entrenamiento de resistencia, basado en altas cargas, se considera el tratamiento de elección para las tendinopatías, especialmente para las tendinopatías rotulianas y aquíleas (39). Sin embargo, al igual que las adaptaciones mencionadas anteriormente en cuanto a la fuerza e hipertrofia muscular, el tendón también puede mejorar sus propiedades en respuesta al estrés metabólico y a las situaciones de hipoxia (13) donde la GH tiene un papel importante, ya que ha demostrado mejorar la rigidez, así como estimular la síntesis de matriz colágena en el tendón (40). También parece tener un papel importante el lactato, el cual promueve la producción de colágeno y la proliferación celular en el tendón (13). Se ha demostrado que un área de sección transversal menor del tendón es un factor predisponente de tendinopatía (41), por lo que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad en sujetos que no soporten la alta intensidad puede suponer una alternativa preventiva importante en esta patología. Además, una mayor rigidez del tendón rotuliano puede estar implicada en una mejor transmisión de fuerza durante la contracción muscular (42), hecho que puede ser beneficioso para aquellos sujetos que tengan que llevar a cabo esfuerzos que impliquen las estructuras del miembro inferior.

Sin embargo, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha mostrado efectos similares en la rigidez del tendón de Aquiles en comparación con el ERBI. Esto puede ser debido a que la duración del estudio que concluyó estos resultados (26) fue de seis semanas, mientras que la literatura científica sugiere que se necesitan doce semanas como mínimo para lograr adaptaciones en el tendón (43).

Respecto a la resistencia muscular, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad ha mostrado resultados positivos en comparación con el ERBI y efectos similares al compararlo con el ERAI. Además, es frecuente que las acciones musculares tengan lugar a bajas intensidades de entrenamiento (7), por lo que la aplicación del entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad puede resultar una alternativa a tener en cuenta para su desarrollo. Se ha visto que la hipoxia generada por la RFS puede tener como consecuencia un aumento en

la capilarización, lo que podría derivar en mejoras en el rendimiento de esa musculatura (44). Tras el entrenamiento con RFS se han visto niveles séricos mayores de factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) y un aumento en la expresión proteica de VEGF, un aumento en el factor inducible por hipoxia 1 alfa y en las isoformas de óxido nítrico sintasa, favoreciendo las ganancias respecto a la resistencia muscular (44), además de mostrar ganancias angiogénicas superiores al entrenamiento sin RFS, haciendo que el entrenamiento con RFS sea una opción en aquellos sujetos que necesiten conseguir mayor resistencia muscular.

El principal hallazgo respecto al dolor muscular y al esfuerzo percibido es que las respuestas perceptivas se atenuaban a medida que se completaban las sesiones de entrenamiento, sugiriendo una posible plasticidad respecto a la percepción subjetiva de dolor muscular y esfuerzo percibido (45). Además, tal y como sugieren los resultados de esta revisión, el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad supone una percepción del esfuerzo menor que el ERAI, y ante la misma intensidad de dolor muscular percibido, hace que el entrenamiento con RFS asociado a baja intensidad sea una técnica a tener en cuenta en aquellos pacientes cuya percepción del esfuerzo sea más sensible al ejercicio. Esa sensación de esfuerzo percibido mayor durante el ERAI puede deberse a la tensión aplicada sobre el sistema musculotendinoso y articular debido a las altas cargas de entrenamiento (45) por lo que al reducir esas cargas con el entrenamiento de RFS se puede ver disminuida la sensación de esfuerzo percibido. Además, los dos estudios que midieron el dolor muscular y el esfuerzo percibido (26,28) mantuvieron la presión de oclusión constante durante los periodos de descanso entre series, lo que podría aumentar tanto la sensación de dolor como de esfuerzo percibido.

En la comparación de los diferentes protocolos llevados a cabo en el entrenamiento con RFS se han encontrado resultados mixtos para todas las variables estudiadas entre los porcentajes de carga utilizados, así como en el tamaño y la presión del manguito, en el número de series y repeticiones totales y en la frecuencia y cantidad de sesiones finales, lo que no permite establecer un protocolo con mayor ventaja sobre otros.

Un punto fuerte de la presente revisión es la calidad metodológica de los estudios incluidos. Diez de los artículos (22–24,26–32) obtuvieron una calidad metodológica alta en la escala PEDro y los otros tres obtuvieron una calidad metodológica aceptable (12,25,33). Sin embargo, para futuros estudios se plantea la opción de que tanto los terapeutas como los evaluadores se encontrasen cegados, así como realizar un cegamiento de la asignación de los sujetos. Sin embargo, esta revisión presenta varias limitaciones. En primer lugar, la heterogeneidad en los instrumentos de medición empleados en la recogida de datos de las diferentes variables puede dificultar la comparación entre estudios. En segundo lugar, la realización de protocolos diferentes de entrenamiento dificulta la extracción de conclusiones y la comparación de los mismos entre los estudios. Además, la elección de artículos realizados en inglés o castellano da lugar a la exclusión de estudios potencialmente relevantes en otros idiomas. En consecuencia, se ve necesaria la realización de ECAs que incluyan protocolos de entrenamiento similares en cuanto a porcentaje de intensidad, presión de oclusión, frecuencia y número de sesiones y duración total, donde se empleen instrumentos de medida estandarizados en todos ellos para lograr una comparación más fiable, además de realizar seguimientos a largo plazo.

7. CONCLUSIÓN

Los resultados de esta revisión muestran que el entrenamiento con RFS es eficaz para obtener ganancias en cuanto a fuerza, hipertrofia, rigidez y resistencia en las estructuras musculotendinosas del miembro inferior. Sin embargo, la información obtenida es insuficiente para establecer una conclusión a cerca de las variables dolor y esfuerzo percibido, así como para determinar el protocolo de entrenamiento más eficaz.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Miko H-C, Zillmann N, Ring-Dimitriou S, Dorner TE, Titze S, Bauer R. Auswirkungen von Bewegung auf die Gesundheit. *Das Gesundheitswes.* 2020 Sep 22;82(S 03):S184–95. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32984942/>
2. Warburton DER, Bredin SSD. Reflections on Physical Activity and Health: What Should We Recommend? *Can J Cardiol.* 2016;32(4):495–504. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26995692/>
3. Chen L, Yu Y. Exercise and Osteoarthritis. *Adv Exp Med Biol.* 2020;1228:219–31. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32342461/>
4. SciELO - Brasil - Mecanismos de perda muscular da sarcopenia Mecanismos de perda muscular da sarcopenia. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbr/a/j45dnGRLSgbR7M8dbdsnbvq/abstract/?lang=en>
5. Taylor JB, Ford KR, Nguyen AD, Terry LN, Hegedus EJ. Prevention of Lower Extremity Injuries in Basketball: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Health.* 2015;7(5):392–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26502412/>
6. Lazarczuk SL, Maniar N, Opar DA, Duhig SJ, Shield A, Barrett RS, et al. Mechanical, Material and Morphological Adaptations of Healthy Lower Limb Tendons to Mechanical Loading: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2022;52(10). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35657492/>
7. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J strength Cond Res.* 2013 Oct;27(10):2914–26.
8. Widmann M, Nieß AM, Munz B. Physical Exercise and Epigenetic Modifications in Skeletal Muscle. *Sports Med.* 2019;49(4):509–23. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30778851/>
9. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687–708. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19204579/>
10. Campos GER, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol.* 2002;88(1–2):50–60. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12436270/>
11. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2857–72. Disponible en: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2010/10000/The_Mechanisms_of_Muscle_Hypertrophy_and_Their.40.aspx
12. Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, Jue G, Mohr K, Brown P, et al. Proximal, Distal, and Contralateral Effects of Blood Flow Restriction Training on the Lower Extremities: A Randomized Controlled Trial. *Sport Heal Multidiscip APPROACH.* 2019;11(2):149–56.

13. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*. 2000;88(1):61–5.
14. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med Sci Sports Exerc*. 2008 Mar;40(3):529–34.
15. Rodrigo-Mallorca D, Loaiza-Betancur AF, Monteagudo P, Blasco-Lafarga C, Chulvi-Medrano I. Resistance Training with Blood Flow Restriction Compared to Traditional Resistance Training on Strength and Muscle Mass in Non-Active Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(21). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34769957/>
16. dos Santos LP, do Espirito Santo RC, Ramis TR, Schoer Portes JK, da Silva Chakr RM, Xavier RM. The effects of resistance training with blood flow restriction on muscle strength, muscle hypertrophy and functionality in patients with osteoarthritis and rheumatoid arthritis: A systematic review with meta-analysis. *PLoS One*. 2021 Nov;16(11).
17. Koc BB, Truyens A, Heymans MJLF, Jansen EJP, Schotanus MGM. Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther*. 2022;17(3):334–46.
18. Gear KM, Kim K, Lee S. Effects of Training with Blood Flow Restriction on Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Exerc Sci*. 2022;15(3):1563. Disponible en: </pmc/articles/PMC9762165/>
19. Chang H, Yao M, Chen B, Qi Y, Zhang J. Effects of Blood Flow Restriction Combined with Low-Intensity Resistance Training on Lower-Limb Muscle Strength and Mass in Post-Middle-Aged Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(23).
20. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Altman D, Antes G, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med*. 2009;6(7). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19621072/>
21. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother*. 2009;55(2):129–33. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19463084/>
22. Martín-Hernández J, Marín P, Menéndez H, Loenneke J, Coelho-E-Silva M, García-López D, et al. Changes in muscle architecture induced by low load blood flow restricted training. *Acta Physiol Hung*. 2013;100(4):411–8.
23. Centner C, Jerger S, Lauber B, Seynnes O, Friedrich T, Lolli D GA, König D. Similar patterns of tendon regional hypertrophy after low-load blood flow restriction and high-load resistance training. *Scand J Med Sci Sports*. 2023;
24. Centner C, Jerger S, Lauber B, Seynnes O, Friedrich T, Lolli D GA, König D, Centner C, Jerger S, Lauber B, Seynnes O, et al. Low-Load Blood Flow Restriction and High-Load Resistance Training Induce Comparable Changes in Patellar Tendon Properties. *Med & Sci Sport & Exerc*. 2022;54(4):582-589.
25. Colomer-Poveda D R-ASV-IAV-GM, Márquez G, Colomer-Poveda D, Romero-Arenas S, Vera-Ibáñez A, Viñuela-García M, et al. Effects of 4 weeks of low-load unilateral resistance training, with and without blood flow restriction, on strength, thickness, V wave, and H reflex of the soleus muscle in men. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117(7):1339–47.
26. Gavanda S, Isenmann E, Schloder Y, Roth R, Freiwald J, Schiffer T, et al. Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial. *PLoS One*. 2020;15(6). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32603351/>
27. Manimmanakorn A, Manimmanakorn N, Taylor R, Draper N, Billaut F, Shearman JP, et al. Effects

- of resistance training combined with vascular occlusion or hypoxia on neuromuscular function in athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2013 Jul;113(7):1767–74.
28. Martín-Hernández J, Ruiz-Aguado J, Herrero AJ, Loenneke JP, Aagaard P, Cristi-Montero C, et al. Adaptation of Perceptual Responses to Low-Load Blood Flow Restriction Training. *J strength Cond Res.* 2017;31(3):765–72. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27191690/>
 29. Centner C, Lauber B, Seynnes OR, Jerger S, Sohnius T, Gollhofer A, et al. Low-load blood flow restriction training induces similar morphological and mechanical Achilles tendon adaptations compared with high-load resistance training. *J Appl Physiol.* 2019;127(6):1660–7.
 30. Martín-Hernández J, Marín PJ, Menéndez H, Ferrero C, Loenneke JP, Herrero AJ. Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sport.* 2013;23(2):1–7.
 31. Sousa JBC, Neto GR, Santos HH, Arajo JP, Silva HQ, Cirilo-Sousa MS. Effects of strength training with blood flow restriction on torque, muscle activation and local muscular endurance in healthy subjects. *Biol Sport.* 2017;34(1):83–90.
 32. Head P, Austen B, Browne D, Campkin T, Barcellona M. Effect of practical blood flow restriction training during bodyweight exercise on muscular strength, hypertrophy and function in adults: A randomised controlled trial. *Int J Ther Rehabil.* 2015 Jun;22(6):263–71.
 33. Kang DY, Kim HS, Lee KS, Kim YM. The effects of bodyweight-based exercise with blood flow restriction on isokinetic knee muscular function and thigh circumference in college students. *J Phys Ther Sci.* 2015 Sep;27(9):2709–12.
 34. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bembem MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(5):1849–59. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21922259/>
 35. Buford TW, Fillingim RB, Manini TM, Sibille KT, Vincent KR, Wu SS. Kaatsu training to enhance physical function of older adults with knee osteoarthritis: Design of a randomized controlled trial. *Contemp Clin Trials.* 2015 Jul;43:217–22.
 36. Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2019;49(1):95. Disponible en: [/pmc/articles/PMC6349784/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33965702/)
 37. Shepstone TN, Tang JE, Dallaire S, Schuenke MD, Staron RS, Phillips SM. Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol.* 2005;98(5):1768–76. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15640387/>
 38. Phillips SM, Parise G, Roy BD, Tipton KD, Wolfe RR, Tarnopolsky MA. Resistance-training-induced adaptations in skeletal muscle protein turnover in the fed state. *Can J Physiol Pharmacol.* 2002;80(11):1045–53. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12489923/>
 39. Burton I, McCormack A. The implementation of resistance training principles in exercise interventions for lower limb tendinopathy: A systematic review. *Phys Ther Sport.* 2021;50:97–113. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33965702/>
 40. Doessing S, Heinemeier KM, Holm L, Mackey AL, Schjerling P, Rennie M, et al. Growth hormone stimulates the collagen synthesis in human tendon and skeletal muscle without affecting myofibrillar protein synthesis. *J Physiol.* 2010;588(Pt 2):341–51. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19933753/>
 41. Couppé C, Kongsgaard M, Aagaard P, Vinther A, Boesen M, Kjær M, et al. Differences in tendon properties in elite badminton players with or without patellar tendinopathy. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(2). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23227947/>
 42. Cristi-Sánchez I, Danes-Daetz C, Neira A, Ferrada W, Díaz RY, Aguirre RS. Patellar and Achilles Tendon Stiffness in Elite Soccer Players Assessed Using Myotonometric Measurements. *Sports*

- Health. 2019;11(2):157–62. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30601077/>
43. Bohm S, Mersmann F, Arampatzis A. Human tendon adaptation in response to mechanical loading: a systematic review and meta-analysis of exercise intervention studies on healthy adults. *Sport Med - Open*. 2015;1(1):1–18. Disponible en: <https://sportsmedicine-open.springeropen.com/articles/10.1186/s40798-015-0009-9>
 44. Larkin KA MRGDMSBMTM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(11):2077-2083.
 45. O’Sullivan SB. Perceived exertion. A review. *Phys Ther*. 1984;64(3):343–6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6366836/>

APÉNDICE A. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Medline (Pubmed): ("blood flow restriction therapy"[MeSH Terms] OR ("blood"[All Fields] AND "flow"[All Fields] AND "restriction"[All Fields] AND "therapy"[All Fields]) OR "blood flow restriction therapy"[All Fields] OR ("dental occlusion"[MeSH Terms] OR ("dental"[All Fields] AND "occlusion"[All Fields]) OR "dental occlusion"[All Fields] OR "occlusion"[All Fields] OR "occluded"[All Fields] OR "occlusions"[All Fields] OR "occlusive"[All Fields] OR "occlusives"[All Fields]) AND ("education"[MeSH Subheading] OR "education"[All Fields] OR "training"[All Fields] OR "education"[MeSH Terms] OR "train"[All Fields] OR "train s"[All Fields] OR "trained"[All Fields] OR "training s"[All Fields] OR "trainings"[All Fields] OR "trains"[All Fields])) OR ("blood flow restriction therapy"[MeSH Terms] OR ("blood"[All Fields] AND "flow"[All Fields] AND "restriction"[All Fields] AND "training"[All Fields]) OR "blood flow restriction training"[All Fields]) OR ("blood circulation"[MeSH Terms] OR ("blood"[All Fields] AND "circulation"[All Fields]) OR "blood circulation"[All Fields] OR ("blood"[All Fields] AND "flow"[All Fields]) OR "blood flow"[All Fields]) AND ("restrict"[All Fields] OR "restricted"[All Fields] OR "restricting"[All Fields] OR "restriction"[All Fields] OR "restrictions"[All Fields] OR "restrictive"[All Fields] OR "restrictiveness"[All Fields] OR "restricts"[All Fields])) OR ("blood flow restriction therapy"[MeSH Terms] OR ("blood"[All Fields] AND "flow"[All Fields] AND "restriction"[All Fields] AND "therapy"[All Fields]) OR "blood flow restriction therapy"[All Fields] OR ("blood"[All Fields] AND "flow"[All Fields] AND "restriction"[All Fields] AND "exercise"[All Fields]) OR "blood flow restriction exercise"[All Fields])) AND ("lower extremity"[All Fields] OR "lower limb"[All Fields] OR "quadriceps muscle"[All Fields] OR "hamstring muscles"[All Fields] OR "triceps suralis"[All Fields] OR "patellar tendon"[All Fields] OR "achilles tendon"[All Fields] OR "tibialis anterior"[All Fields] OR "gastrocnemius muscle"[All Fields] OR "peroneal muscles"[All Fields] OR "soleus"[All Fields])

Scopus: ("blood flow restriction therapy" OR "occlusion training" OR "blood flow restriction training" OR "blood flow restriction" OR "blood flow restriction exercise") AND ("lower extremity" OR "lower limb" OR "quadriceps muscle" OR "hamstring muscles" OR "triceps suralis" OR "patellar tendon" OR "achilles tendon" OR "tibialis anterior" OR "gastrocnemius muscle" OR "peroneal muscles" OR "soleus")

PEDro: blood flow restriction AND lower limb; blood flow restriction AND lower extremity.

Cochrane Library: (blood flow restriction therapy OR occlusion training OR blood flow restriction training OR blood flow restriction OR blood flow restriction exercise) AND ("lower extremity" OR "lower limb" OR "quadriceps muscle" OR "hamstring muscles" OR "triceps suralis" OR "patellar tendon" OR "achilles tendon" OR "tibialis anterior" OR "gastrocnemius muscle" OR "peroneal muscles" OR "soleus")

Web Of Science: (blood flow restriction therapy OR occlusion training OR blood flow restriction training OR blood flow restriction OR blood flow restriction exercise) AND (lower extremity OR lower limb OR quadriceps muscle OR hamstring muscles OR triceps suralis OR patellar tendon OR achilles tendon OR tibialis anterior OR gastrocnemius muscle OR peroneal muscles OR soleus).