

Efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo sobre las extremidades superiores e inferiores en pacientes postquirúrgicos: una revisión sistemática

Effects of blood flow restriction training on the upper and lower limbs in postsurgical patients: a systematic review

Allauca-Llumiyinga MB, Flores-Santy L, Cárdenas-Pérez D
Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador

Correspondencia:
María Belen Allauca Llumiyinga
mballauca@puce.edu.ec

Recibido: 2 enero 2024
Aceptado: 7 abril 2024

RESUMEN

Introducción: la atrofia muscular y la debilidad son desafíos comunes en la rehabilitación postquirúrgica. Se ha demostrado que la restricción del flujo sanguíneo contrarresta estos procesos, gracias a mecanismos como el estrés metabólico y la tensión mecánica, tanto en poblaciones sanas como clínicas. El propósito de esta revisión fue examinar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en las extremidades superiores e inferiores en pacientes postquirúrgicos. *Material y método:* se realizó una búsqueda en PubMed y Cochrane, seleccionando ensayos clínicos aleatorizados publicados en los últimos 5 años. Se incluyeron aquellos que involucraron entrenamiento combinado con restricción del flujo sanguíneo en poblaciones postquirúrgicas, mientras que se excluyeron aquellos enfocados en otras patologías o cirugías no relacionadas con el sistema musculoesquelético. *Resultados:* de 113 publicaciones identificadas en la búsqueda inicial, solo 7 cumplieron con los criterios de inclusión. Los resultados principales revelaron mejoras significativas sobre la fuerza muscular (6 estudios), la hipertrofia (3 estudios), la funcionalidad (5 estudios), el dolor (6 estudios) y la estabilidad (2 estudios). *Conclusiones:* el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo surge como una opción potencial para la rehabilitación postquirúrgica. No obstante, se requieren más investigaciones sobre su impacto en la extremidad superior, así como otras variables y sus mecanismos plausibles.

Palabras clave: terapia de restricción del flujo sanguíneo, periodo postoperatorio, extremidad superior, extremidad inferior.

ABSTRACT

Introduction: muscle atrophy and weakness are common challenges in post-surgical rehabilitation. It has been shown that blood flow restriction counters these processes, thanks to mechanisms such as metabolic stress and mechanical tension, in both healthy and clinical populations. The purpose of this review was to examine the effects of blood flow restriction training on the upper and lower extremities in post-surgical patients. *Material and method:* a search was conducted on PubMed and Cochrane, selecting randomized clinical trials published in the last 5 years. Those involving combined training with blood flow restriction in post-surgical populations were included, while those focused on other pathologies or surgeries unrelated to the musculoskeletal system were excluded. *Results:* out of 113 publications identified in the initial search, only 7 met the inclusion criteria. The main results re-

vealed significant improvements in muscle strength (six studies), hypertrophy (three studies), functionality (five studies), pain (six studies), and stability (two studies). Conclusions: blood flow restriction training emerges as a potential option for post-surgical rehabilitation. However, further research is required on its impact on the upper limb, as well as other variables and their plausible mechanisms.

Keywords: *blood flow restriction therapy, postoperative period, upper extremity, lower extremity.*

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS DEL ESTUDIO

Los datos generados o analizados durante este estudio se incluyen en el presente artículo.

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación postquirúrgica se enfrenta a barreras como la atrofia y la debilidad muscular. De acuerdo con la literatura, después de una cirugía es común un déficit de fuerza entre el 10 y el 30 %⁽¹⁾. Estos procesos suelen ser resultado del desuso, la inmovilización y la inhibición muscular artrogénica (IAM)⁽²⁾, que ocurre como respuesta a una lesión articular, como una cirugía o un trauma, produciendo una disminución de la activación muscular de la articulación afectada^(3, 4).

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (*blood flow restriction* BFR) es una modalidad que ha demostrado ser segura y efectiva para mejorar la fuerza y masa muscular en poblaciones tanto sanas⁽⁵⁻⁸⁾ como con trastornos musculoesqueléticos⁽⁹⁾, cuando se realiza con cargas superiores al 70 % de una repetición máxima (1RM)⁽¹⁾. Sin embargo, su aplicación puede resultar contraproducente en tejidos en proceso de curación⁽²⁾, como el cartílago, el ligamento, el tendón y el músculo durante las primeras fases de rehabilitación después de una cirugía, debido a su contraindicación o a la tolerancia de los pacientes a este tipo de entrenamiento⁽¹⁰⁻¹²⁾. Por lo tanto, se ha sugerido el uso de cargas bajas, entre 20 y 40 % de 1RM, con repeticiones hasta el fallo para aumentar la masa y fuerza muscular⁽¹²⁾, obteniendo resultados similares a los del entrenamiento BFR con cargas altas⁽¹³⁾, que suelen estar contraindicadas después de una cirugía⁽¹¹⁾.

El entrenamiento con BFR consiste en la restricción parcial del flujo sanguíneo al realizar ejercicios mediante la aplicación de un torniquete que ejerce una presión ex-

terna y controlada del 40 al 80 % de la presión de oclusión arterial (POA)⁽¹²⁾ sobre la musculatura proximal de la extremidad de interés⁽¹³⁾. Esta presión genera un ambiente hipóxico que desencadena mecanismos fisiológicos, como el estrés metabólico y la tensión mecánica, promoviendo un ambiente anabólico que resulta en la hipertrofia y el aumento de la fuerza muscular^(13, 14).

Por lo tanto, el entrenamiento con BFR puede ser una opción viable para abordar la debilidad y la atrofia muscular después de una cirugía, debido a que permite mitigar estos problemas sin sobrecargar los tejidos en curación⁽²⁾, especialmente en etapas tempranas⁽¹⁵⁾. Hasta el momento, pocas revisiones han evaluado los efectos de esta modalidad después de una cirugía^(10, 16-21), encontrando evidencia en estudios realizados únicamente en personas sometidas a cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior (RLCA)^(10, 16, 17, 19-21) y cirugía de rodilla en general⁽¹⁸⁾.

Ante la escasa información disponible sobre los efectos del entrenamiento con BFR posterior a una cirugía sobre otras estructuras, este estudio tiene como objetivo examinar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en las extremidades superiores e inferiores en pacientes postquirúrgicos.

MATERIAL Y MÉTODO

Esta revisión sistemática se realizó de acuerdo con la guía PRISMA (elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis)⁽²²⁾.

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda de literatura en las bases de datos PubMed y Cochrane Library siguiendo el pro-

toloco: "(postoperative OR surgery OR reconstruction) AND "blood Flow Restriction"". Esta búsqueda incluyó ensayos clínicos aleatorizados publicados en los últimos 5 años, comprendidos entre el 04 de septiembre de 2018 y el 04 de septiembre de 2023,

Criterios de elegibilidad

Los estudios elegibles se incluyeron tras aplicar los siguientes criterios: entrenamiento con BFR como técnica de intervención y poblaciones postquirúrgicas. Se excluyeron los estudios que evaluaron el entrenamiento con BFR en otras patologías o cirugías ajenas al sistema musculoesquelético.

Extracción de datos

El proceso de selección de artículos se inició con la búsqueda bibliográfica en las bases de datos, seguida de la recopilación y eliminación de duplicados. Luego, se seleccionaron los artículos en función de los criterios de elegibilidad. Por último, se seleccionaron aquellos estudios de interés para el estudio tras una evaluación de su texto completo.

Evaluación de la calidad metodológica y nivel de evidencia

La calidad metodológica de los estudios se evaluó mediante el Instrumento para la lectura crítica y la evaluación de estudios epidemiológicos transversales⁽²³⁾. Este instrumento está compuesto por 27 ítems que abarcan 8 dimensiones: a) pregunta u objetivo de investigación (1 ítem); b) participantes (5 ítems); c) comparabilidad entre los grupos estudiados (4 ítems); d) definición y medición de las variables principales (4 ítems); e) análisis estadístico y confusión (4 ítems); f) resultados (4 ítems); g) conclusiones, validez externa y aplicabilidad de los resultados (4 ítems), y h) conflicto de intereses (1 ítem). Cada ítem se puede responder como: muy bien, bien, regular, mal, no informa o no aplica. Para la calificación global, se sugiere que la calidad del estudio es alta si la

mayoría de las respuestas corresponde a «muy bien» o «bien»; media si la mayoría de los enunciados corresponde a «bien» o «regular»; y, baja si la mayoría se responde como «regular» o «mal»⁽²³⁾. Los estudios se incluyeron independientemente de los resultados de calidad metodológica.

Además, se llevó a cabo una evaluación de la calidad metodológica de los estudios mediante la escala *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro), que consta de 11 ítems, donde se evalúa la validez interna (criterios 2 a 9), informes estadísticos (criterios 10 y 11), y la validez externa (criterio 1), aunque, este último no se incluye en el cálculo de la puntuación total. Cada ítem se puede responder con «sí» o «no» en función del cumplimiento claro de cada criterio. La puntuación máxima de esta escala es de 10 puntos, siendo una puntuación < 4 puntos «mala»; 4 a 5 «regular»; 6 a 8 «buena»; y, 9 a 10 «excelente»⁽²⁴⁾. Esta revisión incluyó todos los estudios independientemente de la puntuación de la calidad metodológica obtenida.

El nivel de evidencia de cada ensayo clínico aleatorizado se determinó de acuerdo con la clasificación del Centro de Medicina Basada en Evidencia Oxford (OCEBM)⁽²⁵⁾.

Resultados de interés

Los resultados incluidos en este estudio fueron la fuerza muscular, la funcionalidad, el trofismo muscular, el dolor, el equilibrio y el rango de movilidad articular (ROM).

RESULTADOS

Resultados de búsqueda

Se identificaron un total de 113 publicaciones, de las cuales 9 fueron eliminadas por duplicados. Un total de 104 artículos fueron examinados, y 38 de ellos fueron excluidos por no cumplir con los criterios de elegibilidad. De los 66 artículos evaluados, 59 fueron rechazados al ser evaluados por su texto completo, resultando que al final del proceso se incluyeron un total de 7 artículos para el análisis (figura 1).

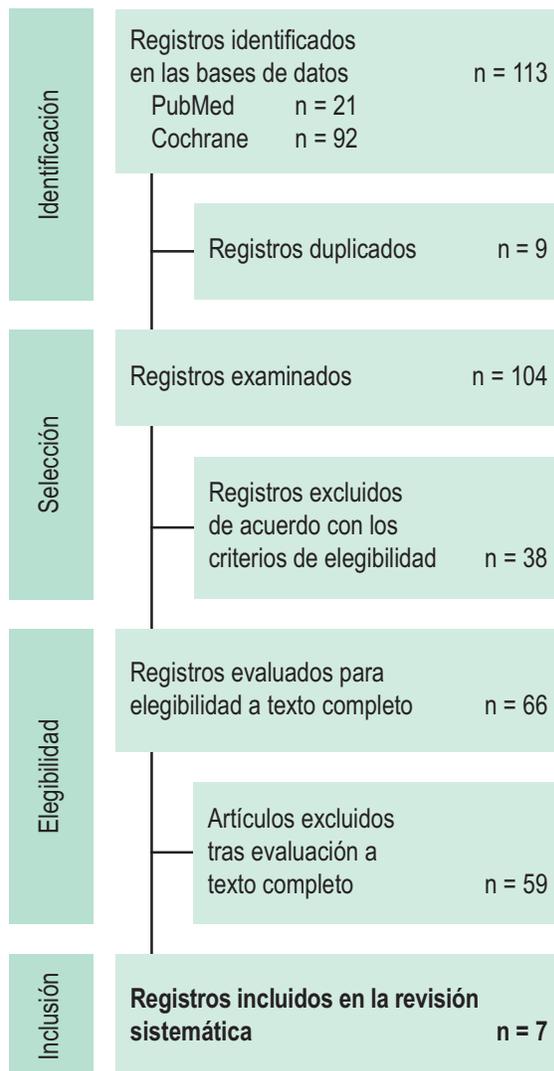


FIGURA 1. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*).

Entre los 7 artículos que constituyen la revisión, se analizó un total de 211 sujetos. La muestra más grande fue la de Park y cols.⁽²⁶⁾ con un total de 42 sujetos, y la más pequeña la de Mason y cols.⁽²⁷⁾ con 17. Estos estudios evaluaron el entrenamiento con BFR en condiciones postoperatorias, incluyendo la recuperación posterior a una RLCA en 3 estudios⁽²⁸⁻³⁰⁾, una osteotomía tibial alta en uno⁽²⁶⁾, una meniscectomía parcial artroscópica en uno⁽³¹⁾, una cirugía de reparación de menisco en otro⁽²⁷⁾,

y una reducción abierta y fijación interna de radio en el último⁽³²⁾. Respecto al género, 6 estudios consideraron ambos géneros (hombres y mujeres) para su evaluación⁽²⁷⁻³²⁾, mientras que un estudio incluyó únicamente mujeres⁽²⁶⁾. El rango de edad entre todos los estudios fue de 16⁽²⁹⁾ a 72 años⁽³²⁾ con una media de 38 años. Los detalles generales y las características de los estudios se resumen en la tabla 1.

Calidad metodológica de los estudios

Al analizar los estudios con el Instrumento para la lectura crítica y la evaluación de estudios epidemiológicos transversales, todos obtuvieron una calidad metodológica «alta» (tabla 2).

Por otra parte, al aplicar la escala PEDro, la mayoría de los estudios obtuvieron una puntuación de 6 y 8, lo que representa una buena calidad metodológica, mientras que uno obtuvo una puntuación de 9, considerándose como excelente. En cuanto a la clasificación del CEBM, todos los estudios resultaron en un grado de recomendación «A» y nivel de evidencia «1b». Estos datos se muestran en la tabla 3.

Protocolos de entrenamiento

En cuanto al protocolo de entrenamiento con BFR, todos los estudios aplicaron un sistema de torniquete con una presión entre 40 a 80 % de la presión de oclusión total (POT). Seis de los estudios aplicaron el torniquete a nivel de la base del muslo⁽²⁶⁻³¹⁾, y uno en el tercio superior del brazo⁽³²⁾. El inicio de la intervención se estableció entre la primera semana postquirúrgica para la mayoría de estudios^(26, 27, 29, 31, 32), sin embargo, 2 de ellos no proporcionaron esta información^(28, 30).

La duración de la intervención fue de 4⁽³²⁾, 8^(30, 31), y 12 semanas⁽²⁶⁻²⁹⁾. Además, la frecuencia de entrenamiento fue de 2 veces por semana para 5 artículos^(26, 28-31), mientras que los 2 restantes tuvieron una frecuencia de 2 a 3 veces por semana⁽²⁷⁾, y 5 veces por semana⁽³²⁾.

En relación con la intensidad de entrenamiento, la mayoría de estudios estableció una intensidad del 20 % de la contracción voluntaria isométrica máxima (MVIC)⁽³²⁾

TABLA 1. Características de los estudios.

Autor, año, país	Características de los estudios
Vieira de Melo y cols. ⁽²⁸⁾ 2022 Brasil	Población. Adultos de 18 a 59 años. Cirugía. RLCA. Tamaño de la muestra. n = 24. Asignación. GI: n = 12, GC: n = 12. Edad. GI: 41,1 ± 9,8, GC: 39,6 ± 10,8.
Jack y cols. ⁽²⁹⁾ 2022 Estados Unidos	Población. Adultos de 16 a 39 años. Cirugía. RLCA. Tamaño de la muestra. n = 32. Asignación. GBFR: n = 17, GC: n = 15, Edad. GBFR: 28,1 ± 7,4, GC: 24,1 ± 7,2.
Fan y cols. ⁽³²⁾ 2023 China	Población. Adultos > 18 años. Cirugía. Reducción abierta y fijación interna de radio. Tamaño de la muestra. n = 35. Asignación. GBFR: n = 17, GTR: n = 18. Edad. GBFR: 44 ± 15, GTR: 47 ± 14.
Li y cols. ⁽³⁰⁾ 2023 China	Población. Adultos de 18 a 40 años. Cirugía. RECA. Tamaño de la muestra. n = 23. Asignación. GBFR1: n = 9, GBFR2: n = 8, GC: n = 6. Edad. GBFR1: 29,67 ± 3,97, GBFR2: 30,50 ± 5,26, GC: 28,33 ± 5,19
Park y cols. ⁽²⁶⁾ 2022 Corea del Sur	Población. Mujeres de 45 a 65 años. Cirugía. Osteotomía tibial alta. Tamaño de la muestra. n = 42. Asignación. GBFR1: n = 14, GBFR2: n = 13, GC: n = 15. Edad. GBFR1: 59,8 ± 1,2, GBFR2: 58,7 ± 1,2, GC: 57,5 ± 1,3
Ke y cols. ⁽³¹⁾ 2022 China	Población. Adultos de 18 a 50 años. Cirugía. APM. Tamaño de la muestra. n = 38. Asignación. GBFR: n = 19, GC: n = 19. Edad. GBFR: 37.58 ± 11.44, GC: 37.74 ± 11.27
Mason y cols. ⁽²⁷⁾ 2022 Estados Unidos	Población. Militares de 18 a 50 años. Cirugía. Cirugía de reparación del menisco. Tamaño de la muestra. n = 17. Asignación. GBFR: n = 8; GC: n = 9. Edad. GBFR: 23 ± 3; GC: 23 ± 4

RLCA: reconstrucción de ligamento cruzado anterior; OA: osteoartritis; APM: meniscectomía parcial artroscópica; n: número; GI: grupo intervención; GC: grupo control; GBFR: grupo BFR; GTR: grupo terapia regular; GBFR1: grupo BFR 1; GBFR2: grupo BFR 2

TABLA 2. Calidad metodológica de los estudios incluidos.

Autor	Pregunta u objetivo	Participantes					Comparabilidad entre los grupos estudiados				Definición y medición variables principales			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vieira de Melo y cols. ⁽²⁸⁾	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	B	MB	MB	MB	B
Jack y cols. ⁽²⁷⁾	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Fan y cols. ⁽³²⁾	B	B	MB	MB	MB	MB	B	B	MB	MB	MB	B	MB	MB
Li y cols. ⁽³⁰⁾	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	MB	B	B	MB	B	MB
Park y cols. ⁽²⁶⁾	MB	MB	MB	MB	B	B	MB	R	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Ke y cols. ⁽³¹⁾	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Mason y cols. ⁽²⁷⁾	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	B	MB	MB	MB

Autor	Análisis estadístico y confusión				Resultados				Conclusiones, validez externa y aplicabilidad de resultados				Conflicto intereses	Calidad estudio
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Vieira de Melo y cols. ⁽²⁸⁾	MB	MB	MB	B	MB	MB	NA	MB	MB	MB	B	MB	B	Alta
Jack y cols. ⁽²⁷⁾	MB	MB	NA	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	B	Alta
Fan y cols. ⁽³²⁾	MB	MB	NA	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	Alta
Li y cols. ⁽³⁰⁾	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	Alta
Park y cols. ⁽²⁶⁾	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	Alta
Ke y cols. ⁽³¹⁾	MB	MB	MB	B	MB	MB	MB	MB	MB	MB	B	MB	MB	Alta
Mason y cols. ⁽²⁷⁾	MB	MB	MB	B	MB	B	B	MB	MB	MB	B	B	MB	Alta

MB: muy bien; B: bien; R: regular; M: mal; NI: no informa; NA: no aplica

TABLA 3. Evaluación de la calidad metodológica y nivel de evidencia mediante la escala PEDro y el CEBM.

Autor	Escala PEDro											Total	Calidad estudio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Vieira de Melo y cols. ⁽²⁸⁾	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	8	Buena
Jack y cols. ⁽²⁷⁾	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	6	Buena
Fan y cols. ⁽³²⁾	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	7	Buena
Li y cols. ⁽³⁰⁾	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	6	Buena
Park y cols. ⁽²⁶⁾	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	9	Excelente
Ke y cols. ⁽³¹⁾	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	8	Buena
Mason y cols. ⁽²⁷⁾	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	8	Buena

Niveles de Evidencia del Center for Evidence-Based Medicine de Oxford (CEBM)

Grado de recomendación: A en los 7 estudios

Nivel evidencia: 1b en los 7 estudios.

0: no; 1: si

y del 30 % 1RM^(26, 29, 31) para toda su muestra. Sin embargo, 2 de ellos aplicaron una intensidad de 30 % 1RM para los grupos de intervención BFR y 70 % 1RM para los grupos control^(27, 28). No obstante, un artículo estableció la intensidad de entrenamiento realizando un ajuste individual en función de las características de cada sujeto⁽³⁰⁾. Cada ejercicio consistió en 4 series, la primera de 30 repeticiones y las 3 restantes de 15 repeticiones, con 30 segundos de descanso entre series. Todos estos datos se resumen en la tabla 4.

Variables y resultados de los estudios

Los resultados de las variables de estudio se muestran en la tabla 5.

Para la medición de la variable fuerza muscular, se utilizaron herramientas como el dinamómetro isométrico^(28, 32); dinamómetro isocinético^(26, 27, 30); y la prueba de fuerza isocinética multiarticular⁽³¹⁾. Vieira de Melo y

cols.⁽²⁸⁾ y Fan y cols.⁽³²⁾ encontraron un aumento significativo ($p < 0,01$) de la fuerza isométrica del cuádriceps e isquiotibiales⁽²⁸⁾ y de flexión y extensión de muñeca⁽³²⁾ en el grupo BFR. Por otra parte, Li y cols.⁽³⁰⁾ y Park y cols.⁽²⁶⁾ observaron un aumento significativo ($p < 0,01$) de la fuerza isocinética del cuádriceps^(26, 30). Además, Ke y cols. observaron una mejora significativa ($p < 0,05$) de la fuerza del cuádriceps en la prueba isocinética multiarticular.

Li y cols.⁽³⁰⁾, Park y cols.⁽²⁶⁾ y Ke y cols.⁽³¹⁾ evaluaron el trofismo muscular del cuádriceps y el área de sección transversal del muslo. Dos de ellos utilizaron imágenes por ultrasonido^(30, 31), mientras que otro lo hizo mediante resonancia magnética⁽²⁶⁾. Li y cols.⁽³⁰⁾ mostraron un aumento significativo ($p < 0,01$) del trofismo del muslo en BFR utilizando el 40 % y 80 % POT después del tratamiento. No obstante, Park y cols.⁽²⁶⁾ mostraron mayor AST del muslo en el grupo que utilizó BFR 80 % POT en relación con BFR 40 % POT y el grupo control. Así también, Ke y cols.⁽³¹⁾ mostraron una mejora significativa

TABLA 4. Características de los estudios.

Autor	Detalle del protocolo de entrenamiento.
Vieira de Melo y cols. ⁽²⁸⁾	<p>Asignación. GI: n = 12, GC: n = 13.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GI: 80 % POT – base del muslo. GC: N/A.</p> <p>Inicio de intervención. N/A.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 12 semanas, 2 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Prensa de piernas y silla flexora.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. GI: 30 % 1RM, GC: 70 % 1RM.</p>
Jack y cols. ⁽²⁹⁾	<p>Asignación. GBFR: n = 17, GC: n = 15.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GBFR: 80 % POT – base del muslo. GC: N/A.</p> <p>Inicio de intervención. Dentro de los 7 días postquirúrgicos.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 12 semanas, 2 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Contracción de cuádriceps, extensión de rodilla en cadena cerrada, prensa de piernas bilateral, press de piernas unilateral, curl de isquiotibial unilateral, sentadilla con balón, estocada y subida al cajón.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. 30 % 1RM</p>
Fan y cols. ⁽³²⁾	<p>Asignación. GBFR: n = 17, GTR: n = 18.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GBFR: 40 a 80 % POT – tercio superior del brazo. GTR: N/A.</p> <p>Inicio de intervención. Entre 3 y 7 días postquirúrgicos.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 4 semanas, 5 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Fuerza isométrica de agarre, pellizco, y flexión y extensión de muñeca.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. 20 % MVIC.</p>
Li y cols. ⁽³⁰⁾	<p>Asignación. GBFR1: n = 9, GBFR2: n = 8, GC: n = 6.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GBFR1: 40 % POT. GBFR2: 80 % POT – base del muslo. G/C: N/R.</p> <p>Inicio de intervención. N/R.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 8 semanas, 2 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Extensión de rodilla isométrica, sentadilla isométrica, estocada, subir y bajar escaleras, curl de cuádriceps, sentadilla, sentadilla búlgara unilateral y caminata de estocada.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. Ajuste individual.</p>
Park y cols. ⁽²⁶⁾	<p>Asignación. GBFR1: n = 14, GBFR2: n = 13, GC: n = 15.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GBFR1: 40 % POA – base del muslo. GBFR2: 80 % POA – base del muslo. GC: N/A.</p> <p>Inicio de intervención. Semana 0.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 12 semanas, 2 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Set de cuádriceps e isquiotibiales, elevación de piernas estiradas, dorsiflexión y plantiflexión con resistencia, curl de cuádriceps e isquiotibiales, aducción y abducción de cadera, bicicleta estacionaria, prensa de piernas, sentadilla, estocada.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. 30 % 1RM.</p>

TABLA 4. Características de los estudios (continuación).

Autor	Detalle del protocolo de entrenamiento.
Ke y cols. ⁽³¹⁾	<p>Asignación. GBFR: n = 19, GC: n = 19.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GBFR; 80 % POT – base del muslo. GC: N/A.</p> <p>Inicio de intervención. Día 2 postoperatorio.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 8 semanas, 2 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Sentadillas, caminata, pedaleo de baja intensidad.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. 30 % 1RM.</p>
Mason y cols. ⁽²⁷⁾	<p>Asignación. GBFR: n = 8, GC: n = 9.</p> <p>Presión y ubicación del torniquete. GBFR; 80 % POT – base del muslo. GC: N/A.</p> <p>Inicio de intervención. Dentro de la primera semana postoperatoria.</p> <p>Período y frecuencia de entrenamiento. 12 semanas, 2 a 3 veces/semana.</p> <p>Entrenamiento/intervención. Isometría de cuádriceps, flexión - extensión y aducción - abducción de caderas con resistencia, curl de cuádriceps e isquiotibiales, sentadilla y press de banca unilateral.</p> <p>Intensidad de entrenamiento. GBFR: 30 % 1RM, GC: 70 % 1RM.</p>

En los 7 estudios la **dosis de ejercicios** es: 4 series = 1 × 30 reps + 3 × 15 reps con 30 segundos de descanso entre series.

GI: grupo intervención; GC: grupo control; GBFR: grupo BFR; GTR: grupo terapia regular; GBFR1: grupo BFR 1; GBFR2: grupo BFR 2; POT: presión de oclusión total; N/R: no refiere; RM: repetición máxima; MVIC: contracción isométrica voluntaria máxima; reps: repeticiones.

TABLA 5. Variables y resultados de los estudios.

Autor	Variables y resultados
Vieira de Melo y cols. ⁽²⁸⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro inferior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 12 semanas,</p> <p>Variables de medición. 1. Fuerza muscular isométrica máxima de flexores y extensores de piernas. 2. Función física de la rodilla.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. Dinamómetro isométrico. 2. Cuestionarios Lysholm, IKDC y KOOS.</p> <p>Resultados. Aumento significativo ($p < 0,01$) de la fuerza isométrica de cuádriceps e isquiotibiales y de la función física de la rodilla a favor de GI. Mejoras significativas ($p < 0,01$) del dolor en la semana 4; de los síntomas y actividades diarias en las semanas 8 y 12; y de la calidad de vida en la semana 12 a favor de GI.</p>
Jack y cols. ⁽²⁹⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro inferior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 12 semanas.</p> <p>Variables de medición. 1. Regreso al deporte. 2. DMO. 3. Masa ósea. 4. Masa magra.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. Pruebas (ejercicios) funcionales. 2, 3 y 4. DXA.</p> <p>Resultados. Menor pérdida ($p < 0,05$) de masa ósea y DMO en GBFR en relación con GC. Mejoras ($p = 0,01$) de las pruebas funcionales en ambos grupos, con un menor tiempo de regreso al deporte en GBFR en comparación con GC.</p>

TABLA 5. Variables y resultados de los estudios (continuación).

Autor	Detalle del protocolo de entrenamiento.
Fan y cols. ⁽³²⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro superior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 4 semanas.</p> <p>Variables de medición. 1. Dolor. 2. Fuerza isométrica de agarre, pellizco y flexión y extensión de muñeca. 3. ROM (flexión, extensión, desviación radial, y cubital, pronación y supinación. 4. Nivel de curación ósea. 5. Función general de la muñeca. 6. Trofismo muscular.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. EVA. 2. Dinamómetro isométrico. 3. Goniómetro. 4. RUSS. 5. Modificación de Clooney-Green O'Brie. 6. Cinta métrica.</p> <p>Resultados. Reducción significativa ($p < 0,01$) del dolor de GBFR en comparación con GRT. Disminución significativa ($p < 0,01$) de la hinchazón en ambos grupos. Aumento significativo ($p < 0,1$) de la fuerza isométrica de extensión y flexión de muñeca y la funcionalidad en GBFR.</p>
Li y cols. ⁽³⁰⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro inferior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 8 semanas.</p> <p>Variables de medición. 1. Fuerza del cuádriceps. 2. Trofismo muscular. 3. Función de la articulación de la rodilla. 4. Estabilidad de la articulación de la rodilla.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. Dinamómetro. 2. Ultrasonido Doppler color. 3. IKDC. 4. Prueba de equilibrio-Y.</p> <p>Resultados. Aumento/mejora significativa ($p < 0,01$) de la fuerza del cuádriceps, trofismo muscular del muslo y la función de la articulación de la rodilla en BFR1 y BFR2 después del tratamiento. Mejora significativa ($p < 0,01$) en BFR2 de la estabilidad de la rodilla después del experimento.</p>
Park y cols. ⁽²⁶⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro inferior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 12 semanas,</p> <p>Variables de medición. 1. Trofismo muscular. 2. Fuerza extensión de rodilla. 3. Dolor. 4. Función de la articulación de la rodilla.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. Resonancia Magnética. 2. Dinamómetro isocinético. 3. EVA. 4. IKDC.</p> <p>Resultados. Mayor AST del muslo en BFR2 en relación con BFR1 y GC después del tratamiento..Aumento significativo ($p < 0,01$) de la fuerza de extensión de la rodilla y de la función de la rodilla en todos los grupos que fue más alta en BFR2 después del tratamiento. Disminución del dolor en todos los grupos.</p>
Ke y cols. ⁽³¹⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro inferior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 8 semanas.</p> <p>Variables de medición. 1. Fuerza del cuádriceps. 2. Dolor. 3. Trofismo muscular. 4. Función de rodilla 5. Equilibrio. 6. ROM.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. Prueba de fuerza isocinética multiarticular. 2. EVA . 3. Imagen por ultrasonido y cinta métrica. 4. Escada Lysholm. 5. Prueba OLST. 6. Goniómetro.</p> <p>Resultados. Mejora significativa ($p < 0,05$) de la fuerza del cuádriceps, dolor, trofismo muscular del cuádriceps, función de la rodilla, equilibrio y ROM en GBFR después del tratamiento.</p>

TABLA 5. Variables y resultados de los estudios (continuación).

Autor	Detalle del protocolo de entrenamiento.
Mason y cols. ⁽²⁷⁾	<p>Zona de aplicación BFR. Miembro inferior.</p> <p>Periodo de entrenamiento. 12 semanas.</p> <p>Variables de medición. 1. Trofismo muscular del muslo. 2. Función de la rodilla autoinformada. 3. Fuerza de extensores y flexores de rodilla.</p> <p>Herramientas de evaluación. 1. N/R. 2. Escala LEFS. 3. Dinamómetro isocinético.</p> <p>Resultados. No hubo cambios clínicamente significativos en las variables de estudio.</p>

DMO: densidad mineral ósea; ROM: rango de movilidad articular; AST: área de sección transversal; ROM: rango de movilidad articular; IKDC: Comité Internacional de documentación sobre la rodilla; KOOS: Puntuación de resultados de Lesiones de Rodilla y Osteoartritis; DXA: absorciometría dual de rayos X; EVA: escala visual análoga del dolor; RUSS: sistema de puntuación de unión del radio; cm: centímetros; OLST: prueba de bipedestación con una sola pierna; LEFS: Escala Funcional de la Extremidad Inferior; TV: trombosis venosa; N/R: no refiere.

($p < 0,05$) del trofismo del cuádriceps en BGBFR después del tratamiento. Otra medida para evaluar el trofismo muscular fue la circunferencia del muslo y muñeca con una cinta métrica^(27, 31, 32). No obstante, solo Ke y cols.⁽³¹⁾ informaron una mejora significativa ($p < 0,05$) de la circunferencia del muslo en GBFR después del tratamiento.

En relación con la funcionalidad, se utilizaron un total de 5 herramientas, siendo utilizado en 2 estudios el cuestionario Lysholm^(28, 31); el cuestionario del Comité Internacional de Documentación de la Rodilla (IKDC) para 3 estudios^(26, 28, 30); la escala Modificada de Cooney–Green O’Brie⁽³²⁾; la Puntuación de Resultados de Lesiones de Rodilla y Osteoartritis (KOOS)⁽²⁸⁾; y la Escala Funcional de la Extremidad Inferior (LEFS)⁽²⁷⁾. Vieira y cols.⁽²⁸⁾, Fan y cols.⁽³²⁾, Li y cols.⁽³⁰⁾ y Park y cols.⁽²⁶⁾ mostraron un aumento significativo ($p < 0,01$) de la función de la rodilla y muñeca después del tratamiento con BFR. Por otra parte, Ke y cols.⁽³¹⁾ encontraron mejoras significativas ($p < 0,05$) de la función de la rodilla después del tratamiento BFR.

En cuanto al dolor, un estudio evaluó esta variable mediante el cuestionario KOOS/dolor⁽²⁸⁾, y 3 estudios utilizaron la escala EVA^(26, 31, 32). Vieira y cols.⁽²⁸⁾ mostraron mejoras significativas ($p < 0,01$) en la semana 4. Fan y cols.⁽³²⁾ mostraron una reducción significativa ($p < 0,01$) en el grupo BFR en comparación con el grupo de rehabilitación tradicional. Además, Ke y cols.⁽³¹⁾ observaron

una mejora significativa ($p < 0,05$) en el grupo BFR después del tratamiento. No obstante, Park y cols.⁽²⁶⁾ informaron una disminución en todos los grupos.

El equilibrio fue evaluado en 2 estudios mediante la prueba-Y⁽³⁰⁾ y la prueba de bipedestación con una pierna (OLST)⁽³¹⁾. Li y cols.⁽³⁰⁾ observaron una mejora significativa ($p < 0,01$) de la estabilidad de la rodilla en el grupo que entrenó con BFR al 80 % POT después del entrenamiento, mientras que Ke y cols.⁽³¹⁾ mostraron una mejora significativa ($p < 0,05$) del equilibrio después del entrenamiento.

Finalmente, 2 de los 7 estudios evaluaron el ROM mediante un goniómetro^(31, 32). Sin embargo, tan solo Ke y cols.⁽³¹⁾ observaron una mejora significativa ($p < 0,05$) del ROM en el grupo BFR después del tratamiento.

DISCUSIÓN

Esta revisión tuvo como objetivo examinar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en las extremidades superiores e inferiores en pacientes postquirúrgicos.

El hallazgo más relevante de esta revisión fue que el entrenamiento con BFR tiene efectos beneficiosos sobre la fuerza muscular, tanto isométrica^(28, 32) como isocinética^(26, 30, 31) en comparación con el entrenamiento sin

BFR. Estos resultados son consistentes con una revisión sistemática realizada por Wortman y cols.⁽⁵⁾ donde se concluyó que el entrenamiento BFR puede ser eficaz sobre la fuerza muscular en atletas sanos. Los principales mecanismos encargados de este efecto serían el estrés mecánico y el metabólico. El estrés metabólico surge del sistema de torniquete de BFR donde se ocluye el flujo venoso y se mantiene el flujo de entrada arterial, creando un ambiente de hipoxia que induce la fatiga muscular de manera que se estimula el sistema anaeróbico a nivel muscular, lo que resulta en el estímulo de la fuerza^(1, 33). Por otra parte, si bien Lopez y cols.⁽³⁴⁾ mencionan que el aumento de la fuerza es superior cuando se realizan ejercicios con carga alta, este estudio informó un incremento significativo de la fuerza al entrenar con cargas de 20 % MVIC⁽³²⁾ y 30 % 1RM^(26, 29, 31), lo que podría deberse a la tensión mecánica a nivel muscular generada por el entrenamiento con cargas a partir del 20 % 1RM⁽¹⁾. Esto hace que el entrenamiento BFR sea una opción potencial después de un proceso quirúrgico para mejorar la fuerza donde las cargas altas suelen estar contraindicadas o no toleradas.

Respecto al trofismo muscular, las herramientas de medición fueron heterogéneas. La variabilidad de la evaluación del trofismo por imagen puede deberse al costo y disponibilidad de la imagen por ultrasonido en relación con la resonancia magnética⁽³⁵⁾. El trofismo también fue medido a través de la circunferencia del muslo^(31, 32). A pesar de esta heterogeneidad, 3 de los estudios que evaluaron esta variable sugieren mejoras significativas después del tratamiento^(26, 30, 31). Por lo que, parece aceptable concluir que, independientemente de la herramienta utilizada, el trofismo muscular puede beneficiarse del entrenamiento con BFR. Así también, esta mejora puede atribuirse al estrés metabólico y mecánico inducido por el entrenamiento BFR⁽³⁶⁾.

Por otra parte, hasta el momento no se ha encontrado evidencia contundente sobre la eficacia del entrenamiento BFR en términos de funcionalidad. Estudios previos sugieren que esta intervención resulta eficaz sobre la función en mujeres con patologías crónicas⁽³⁷⁾, personas que realizaron múltiples modalidades de ejercicio combinado con BFR⁽³⁸⁾, y poblaciones con patologías musculoesqueléticas⁽³⁹⁾. Si bien en este estudio se utilizaron diferentes herramientas de medición, se en-

contró una mejora significativa de la funcionalidad en 5 de 6 estudios que evaluaron esta variable^(26, 28, 30-32). Baker y cols.⁽⁶⁾, informaron resultados similares donde se menciona que BFR puede demostrar utilidad sobre la función en personas mayores de 50 años. Estos resultados podrían deberse a la relación entre la masa y fuerza muscular con respecto a la función^(40, 41).

Otro de los resultados importantes en esta revisión fue la mejora del dolor. Todos los estudios que evaluaron esta variable mostraron mejoras significativas en la escala EVA^(26, 28, 31, 32). Estos resultados son consistentes con el estudio realizado por Li y cols.⁽⁴²⁾, donde las puntuaciones del dolor resultaron mejores con el entrenamiento de resistencia con carga baja con BFR en relación con el entrenamiento convencional de carga. Uno de los mecanismos responsables de este efecto sería la hipotalgesia inducida por el ejercicio (HIE), que se relaciona con la producción natural de opioides y endocannabinoides del cuerpo⁽⁴³⁾. En este sentido, la magnitud de la HIE puede estar influenciada por los parámetros del entrenamiento como la intensidad⁽⁴⁴⁾. Literatura previa indica que la HIE es proporcional a la intensidad del ejercicio⁽⁴⁵⁾, sin embargo, investigaciones recientes han observado resultados similares^(42, 46) y significativamente mayores⁽⁴⁴⁾ con el entrenamiento BFR con cargas bajas en relación con el entrenamiento con cargas altas por sí solo.

Aunque 2 estudios evaluaron la estabilidad con diferentes herramientas, ambos demostraron una mejora significativa después del tratamiento^(30, 31). Sin embargo, estos resultados son contrarios a los descritos por Mahmoud y cols.⁽⁴⁷⁾ donde se informó que BFR por sí solo no tiene la capacidad de mejorar el equilibrio dinámico en mujeres con inestabilidad crónica de tobillo. No obstante, no se encontró literatura que haya estudiado el efecto del entrenamiento combinado con BFR sobre la estabilidad.

Finalmente, con respecto al ROM solo Ke y cols.⁽³¹⁾ encontraron una mejora significativa del ROM con un entrenamiento de rehabilitación con BFR en comparación con la rehabilitación de rutina por sí sola. No obstante, según esta investigación bibliográfica, no se pudieron identificar estudios previos que evalúen el ROM después de un programa de entrenamiento combinado con BFR en pacientes postquirúrgicos.

Limitaciones

Si bien el objetivo de esta revisión fue examinar los efectos del entrenamiento BFR en las extremidades superiores e inferiores, este estudio estuvo limitado por la escasa disponibilidad de literatura relacionada con cirugías realizadas en la extremidad superior.

Otra limitación fue el reducido tamaño de muestra de los estudios. A pesar del número limitado de artículos incluidos en esta revisión, se optó por incluir únicamente ensayos clínicos aleatorizados para garantizar un nivel de evidencia adecuado.

En cuanto al diseño de los estudios incluidos en esta revisión, no se discriminaron las poblaciones en función de su experiencia previa en el entrenamiento de resistencia. En este sentido el aumento del trofismo muscular después del entrenamiento BFR pudo deberse a la ventana de adaptación de los participantes que no habían entrenado con resistencia previamente⁽³⁴⁾. El cegamiento de los pacientes fue otra limitación identificada debido al sistema de torniquete utilizado. Además, la duración de la intervención resulta insuficiente para evaluar los resultados de esta intervención a largo plazo.

CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática sugiere que el entrenamiento combinado con BFR puede resultar eficaz sobre la fuerza muscular, el trofismo muscular, la función y el dolor después de un proceso quirúrgico del sistema musculoesquelético. Sin embargo, debido a la limitada disponibilidad de la literatura no se pueden atribuir estos beneficios a las cirugías de la extremidad superior.

Nivel de evidencia

El presente artículo presenta un nivel de evidencia 1a.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los autores

declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos, derecho a la privacidad y consentimiento informado. En este artículo no aparecen datos personales de sujetos de estudio.

Declaración de los conflictos de intereses. Las autoras declaran no tener conflictos de intereses.

Financiación. Las autoras declaran no haber tenido ninguna fuente de financiación para la realización de este trabajo.

Fuentes de apoyo. Las autoras declaran no contar con fuentes de apoyo que hayan facilitado la realización de esta investigación.

Contribución y autoría. Todas las autoras de este trabajo declaran haber contribuido sustancialmente a la concepción, diseño y realización del estudio, participando en todo el contenido y aprobando la versión final del manuscrito que se presenta. Todos los autores cumplen los criterios de autoría. María Belen Allauca: diseño, análisis/interpretación y redacción del manuscrito. Lucía Flores Santy: diseño del manuscrito, revisión del contenido y aprobación de la versión a ser publicada. Daniela Cárdenas Pérez: revisión del contenido y aprobación de la versión a ser publicada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vopat BG, Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. Blood Flow Restriction Therapy: Where We Are and Where We Are Going. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020 Jun 15; 28(12): E493–500.
2. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, et al. Blood Flow Restriction Training. *J Athl Train.* 2021 Sep 1; 56(9): 937–44.
3. Lepley AS, Lepley LK. Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition. *J Sport Rehabil.* 2021 Aug 1; 31(6): 707–16.
4. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Quelard B, Daggett M, Borade A, Ouanezar H, et al. Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy

- of interventions. *Br J Sports Med.* 2019 Mar 1; 53(5): 289–98.
5. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2021 Jun 1; 49(7): 1938–44.
 6. Baker BS, Stannard MS, Duren DL, Cook JL, Stannard JP. Does Blood Flow Restriction Therapy in Patients Older Than Age 50 Result in Muscle Hypertrophy, Increased Strength, or Greater Physical Function? A Systematic Review. *Clin Orthop Relat Res.* 2020 Mar 1; 478(3): 593–606.
 7. 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 Jan 25; 49(1): 95–108.
 8. Zhang T, Tian G, Wang X. Effects of Low-Load Blood Flow Restriction Training on Hemodynamic Responses and Vascular Function in Older Adults: A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 May 31; 19(11): 6750
 9. Minniti MC, Statkevich AP, Kelly RL, Rigsby VP, Exline MM, Rhon DI, et al. The Safety of Blood Flow Restriction Training as a Therapeutic Intervention for Patients With Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2020 Jun 1; 48(7): 1773–85.
 10. 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.
 11. Watson R, Sullivan B, Stone A, Jacobs C, Malone T, Heebner N, et al. Blood Flow Restriction Therapy: An Evidence-Based Approach to Postoperative Rehabilitation. *JBJS Rev.* 2022 Oct 3; 10(10).
 12. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise position stand: Considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol.* 2019 May 15; 10: 553.
 13. Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms behind blood flow-restricted training and its effect toward muscle growth. *J Strength Cond Res.* 2019 Jul; 33(Suppl 1): S167–79.
 14. Reina-Ruiz AJ, Galán-Mercant A, Molina-Torres G, Merchán-Baeza JA, Romero-Galisteo RP, González-Sánchez M. Effect of Blood Flow Restriction on Functional, Physiological and Structural Variables of Muscle in Patients with Chronic Pathologies: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Jan 20; 19(3): 1160.
 15. LaPrade RF, Monson JK, Schoenecker J. Editorial Commentary: Blood Flow Restriction Therapy Continues to Prove Effective. *Arthroscopy.* 2021 Sep 1; 37(9): 2870–2.
 16. Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post ACL reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 2020 Dec; 15(6): 882–91.
 17. Lu Y, Patel BH, Kym C, Nwachukwu BU, Beletksy A, Forsythe B, et al. Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2020 Mar 25; 8(3): 2325967120906822.
 18. Wengle L, Migliorini F, Leroux T, Chahal J, Theodoropoulos J, Betsch M. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2022 Aug 1; 50(10): 2824–33.
 19. Álvarez CB, Santamaría PIK, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero S, et al. Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *J Clin Med.* 2020 Dec 27; 10(1): 68.
 20. Glatke KE, Tummala SV, Chhabra A. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Recovery and Rehabilitation: A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am.* 2022 Apr 20; 104(8): 739–54.
 21. Colapietro M, Portnoff B, Miller SJ, Sebastianelli W, Vairo GL. Effects of Blood Flow Restriction Training on Clinical Outcomes for Patients With ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Health.* 2023 Mar 1; 15(2): 260–73.
 22. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología (English Edition).* 2021 Sep 1; 74(9): 790–9.
 23. Berra S, Elorza-Ricart JM, Estrada MD, Sánchez E. Instrumento para la lectura crítica y la evaluación de estudios epidemiológicos transversales. *Gac Sanit.* 2008; 22(5): 492–9.
 24. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother.* 2020 Jan 1; 66(1): 59.

25. Manterola C, Asenjo-Lobos C, Otzen T. Jerarquización de la evidencia: Niveles de evidencia y grados de recomendación de uso actual. *Revista Chilena de Infectología*. 2014 Dec 1; 31(6): 705–18.
26. Park HS, Song JS, Kim EK. Effects of low-intensity resistance exercise with blood flow restriction after high tibial osteotomy in middle-aged women. *Medicine (United States)*. 2022 Dec 23; 101(51): e32294
27. Mason JS, Crowell MS, Brindle RA, Dolbeer JA, Miller EM, Telemeco TA, et al. The Effect of Blood Flow Restriction Training on Muscle Atrophy Following Meniscal Repair or Chondral Restoration Surgery in Active Duty Military: A Randomized Controlled Trial. *J Sport Rehabil*. 2021 Oct 22; 31(1): 77–84.
28. Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS de, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *J Rehabil Med*. 2022 Nov 1; 54: jrm00337.
29. Jack RA, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports Health*. 2023 May; 15(3): 361–371.
30. Li X, Li J, Qing L, Wang H, Ma H, Huang P. Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023 Dec 1; 24(1): 1–14.
31. Ke J, Zhou X, Yang Y, Shen H, Luo X, Liu H, et al. Blood flow restriction training promotes functional recovery of knee joint in patients after arthroscopic partial meniscectomy: A randomized clinical trial. *Front Physiol*. 2022 Oct 13; 13: 1015853.
32. Fan Y, Bai D, Cheng C, Tian G. The effectiveness and safety of blood flow restriction training for the post-operation treatment of distal radius fracture. *Ann Med*. 2023 Dec 12; 55(2): 2240329.
33. Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, Dankel SJ, Mouser JG, Abe T, et al. Mechanisms of blood flow restriction: The new testament. *Techniques in Orthopaedics*. 2018; 33(2): 72–9.
34. Lopez P, Radaelli R, Taaffe DR, Newton RU, Galvão DA, Trajano GS, et al. Resistance Training Load Effects on Muscle Hypertrophy and Strength Gain: Systematic Review and Network Meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2021 Jun 1; 53(6): 1206–16.
35. Wengle L, Migliorini F, Leroux T, Chahal J, Theodoropoulos J, Betsch M. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2022 Aug 1; 50(10): 2824–33.
36. Krzysztofik M, Wilk M, Wojdała G, Golaś A. Maximizing Muscle Hypertrophy: A Systematic Review of Advanced Resistance Training Techniques and Methods. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Dec 4; 16(24): 4897.
37. dos Santos LP, do Espírito Santo RC, Ramis TR, Portes JKS, 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 1; 16(11): e0259574.
38. Clarkson MJ, May AK, Warmington SA. Chronic Blood Flow Restriction Exercise Improves Objective Physical Function: A Systematic Review. *Front Physiol*. 2019 Aug 21; 10: 444235.
39. Reina-Ruiz AJ, Martínez-Cal J, Molina-Torres G, Romero-Galisteo RP, Galán-Mercant A, Carrasco-Vega E, et al. Effectiveness of Blood Flow Restriction on Functionality, Quality of Life and Pain in Patients with Neuromusculoskeletal Pathologies: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 12; 20(2): 1401.
40. Vikberg S, Sörlén N, Brandén L, Johansson J, Nordström A, Hult A, et al. Effects of Resistance Training on Functional Strength and Muscle Mass in 70-Year-Old Individuals With Pre-sarcopenia: A Randomized Controlled Trial. *J Am Med Dir Assoc*. 2019 Jan 1; 20(1): 28–34.
41. Valenzuela PL, Saco-Ledo G, Morales JS, Gallardo-Gómez D, Morales-Palomo F, López-Ortiz S, et al. Effects of physical exercise on physical function in older adults in residential care: a systematic review and network meta-analysis of randomised controlled trials. *Lancet Healthy Longev*. 2023 Jun 1; 4(6): e247–56.
42. Li S, Shaharudin S, Kadir MRA. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Pain in Patients With Knee Injuries: A Meta-Analysis. *Am J Phys Med Rehabil*. 2021 Apr 1; 100(4): 337–44.

43. Hughes L, Patterson SD. The effect of blood flow restriction exercise on exercise-induced hypoalgesia and endogenous opioid and endocannabinoid mechanisms of pain modulation. *J Appl Physiol.* 2020 Apr 1; 128(4): 914–24.
44. Karanasios S, Lignos I, Kouvaras K, Moutzouri M, Gioftos G. Low-Intensity Blood Flow Restriction Exercises Modulate Pain Sensitivity in Healthy Adults: A Systematic Review. *Healthcare (Switzerland).* 2023 Mar 1; 11(5): 726.
45. Tomschi F, Lieverkus D, Hilberg T. Exercise-induced hypoalgesia (EIH) in response to different exercise intensities. *Eur J Appl Physiol.* 2022; 122(3): 2213–22.
46. Hughes L, Patterson SD. Low intensity blood flow restriction exercise: Rationale for a hypoalgesia effect. *Med Hypotheses.* 2019 Nov 1; 132: 109370.
47. Mahmoud WS, Radwan NL, Ibrahim MM, Hasan S, Alamri AM, Ibrahim AR. Effect of blood flow restriction as a stand-alone treatment on muscle strength, dynamic balance, and physical function in female patients with chronic ankle instability. *Medicine.* 2023 Nov 3; 102(44): e35765.