

Iván López Calvo - Marta Mateus Rodríguez - Inés Rodrigo Vaz

**IMPACTO DE LA INTENSIDAD DEL ENTRENAMIENTO Y LA PRESIÓN DE
OCLUSIÓN EN EL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA CON TERAPIA DE
RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

TRABAJO FIN DE GRADO

dirigido por la Sra. Maria Iris Miralles Rull

Grado en Fisioterapia



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Reus

2024



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

FACULTAT DE MEDICINA I CIÈNCIES DE LA SALUT

Vistiplau pel lliurament i defensa del Treball de Fi de Grau de Fisioteràpia

En/na Iris Miralles Rull.....en la
seva tasca com a tutor, considera que

EL TREBALL PRÀCTIC ANOMENAT:

IMPACTO DE LA INTENSIDAD DEL ENTRENAMIENTO Y LA
PRESIÓN DE OCLUSIÓN EN EL ENTRENAMIENTO DE
RESISTENCIA CON TERAPIA DE RESTRICCIÓN DE FLUJO
SANGUÍNEO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

REALITZAT PER:

Iván López Calvo

Marta Mateus Rodríguez

Inés Rodrigo Vaz



ÉS ADEQUAT I, EN CONSEQÜÈNCIA, EN RECOMANA LA DEFENSA

Signatura tutor/ data

Maria Iris
Miralles Rull -
DNI 39886089H
(TCAT)

Firmado digitalmente
por Maria Iris Miralles
Rull - DNI 39886089H
(TCAT)
Fecha: 2024.05.09
15:11:49 +02'00'

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría transmitir nuestro más sincero agradecimiento a todos aquellos que nos han ayudado durante la realización de este trabajo de final de grado.

En primer lugar, a nuestra tutora, Iris Miralles Rull, por su buena orientación y dedicación en la tutorización, brindándonos su invaluable asesoramiento en la planificación y organización de este, aportando buenos consejos. También a familiares y amigos que nos han apoyado durante este trayecto de aprendizaje, dándonos apoyo emocional y moral. Por último, agradecer a la Universidad Rovira i Virgili, tanto la aportación de los medios como de las instalaciones que nos ha proporcionado para poder desarrollar este trabajo.

Este trabajo marca el cierre de una etapa significativa en nuestra formación académica.

Gracias por acompañarnos en este proceso.

ÍNDICE

LISTADO DE ABREVIATURAS	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	11
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
3.1 Criterios de elegibilidad.....	12
3.2 Estrategia de búsqueda	13
3.3 Proceso de selección de los estudios	14
3.4 Análisis de datos	14
4. RESULTADOS	15
4.1 Resultados de búsqueda	15
4.2 Características de los estudios	16
4.3 Análisis del riesgo de sesgo.....	24
4.4 Análisis de la calidad metodológica de los estudios	26
4.5 Análisis de los resultados de cada estudio	26
5. DISCUSIÓN	32
5.1 Factores moderadores de los efectos de la BFR.....	33
5.1.1 Intensidad.....	33
5.1.2 Presión de oclusión	34
5.2 Efectos del entrenamiento de resistencia con y sin BFR.....	35
5.3 Limitaciones.....	37
5.4 Líneas futuras	38
6. CONCLUSIONES.....	38
7. BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXO	42

LISTADO DE ABREVIATURAS

GP: Grupo Programa

GC: Grupo Control

BFR: Restricción del Flujo Sanguíneo

PRISMA: *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

PICOS: Pacientes, Intervención, Comparación, Resultados y Estudio

PROSPERO: (*International prospective register of systematic reviews*)

CAR: *Central Activation Radio*

IKDC: Comité Internacional de Documentación de la Rodilla

RM: Repetición Máxima

LCA: Ligamento Cruzado Anterior

OTA: Osteotomía Tibial Alta

LIE: *Low-Intensity resistance Exercise*

AOP: Presión de Oclusión Arterial

CSA: Área de Sección Transversal

OMNI-RES: *OMNI Resistance Exercise Scale*

IRM: Imagen por Resonancia Magnética

EVA: Escala Visual Analógica

VOP: Pletismografía de Oclusión Venosa

NVC: Videocapilaroscopia del Pliegue Ungueal

EMG: Electromiografía

MMG: Mecanomiografía

LI: *Low Intensity*

HI: *High Intensity*

RE: Ejercicio de Resistencia

IMC: Índice de Masa Corporal

BFRT: *Blood Flow Restriction Training*

RT: *Resistance Training*

RPE: Esfuerzo Percibido

TTV: Volumen Total de Entrenamiento

PAS: Presión Arterial Sistólica

PAD: Presión Arterial Diastólica

PP: Potencia máxima

MP: Potencia mínima

AP: Potencia promedio

MDT: Equipo Multidisciplinario

LL-BFR: Entrenamiento de baja carga con Flujo Sanguíneo Restringido

GH: Hormona de crecimiento

AR: Recuperación activa

PwKOA: *Persons with Knee Osteoarthritis*

DEXA: Absorciometría de rayos X de doble energía

PwH: *People with Hemophilia*

+: Alto riesgo de sesgo

-: Bajo riesgo de sesgo

\bar{x} : Media

RESUMEN

Introducción. La terapia de Restricción del Flujo Sanguíneo (BFR) ha emergido como una nueva técnica de entrenamiento en estos últimos años, la cual impone una restricción parcial al flujo arterial y una restricción total al flujo venoso en la musculatura activa durante el ejercicio. Se han observado beneficios potenciales en cuanto al tamaño y la fuerza muscular, así como mejoras en la función física y la resistencia. Sin embargo, la presión de oclusión óptima y cómo afecta a diferentes intensidades de entrenamiento de resistencia aún están por determinar.

Objetivo. Analizar cómo afecta la intensidad del entrenamiento y las diferentes presiones de oclusión en el entrenamiento de resistencia con la terapia de restricción del flujo sanguíneo (BFR)

Material y métodos. Se han seguido las recomendaciones PRISMA empleando ensayos clínicos extraídos de: Pubmed (Medline), Cochrane Library y PEDro

Resultados. Se analizaron 15 artículos para valorar como la aplicación de la BFR con diferente presión de oclusión y a diferente nivel de intensidad de entrenamiento afecta los parámetros de fuerza, activación y atrofia muscular, función muscular, dolor, tamaño del músculo y esfuerzo percibido.

Conclusión. La intensidad del ejercicio y la presión de oclusión son claros moderadores de los efectos de la BFR. La manera óptima de aplicar la BFR, es en combinación con un entrenamiento de resistencia de baja intensidad y con una presión de oclusión elevada.

Palabras clave: Terapia de Restricción del Flujo Sanguíneo; Entrenamiento Aeróbico; Entrenamiento de Intervalos de Alta Intensidad; Oclusión Terapéutica

ABSTRACT

Introduction. Blood Flow Restriction (BFR) therapy has emerged as a new training technique in recent years, imposing partial restriction to arterial flow and total restriction to venous flow in active muscles during exercise. Potential benefits have been observed regarding muscle size and strength, as well as improvements in physical function and endurance. However, the optimal occlusion pressure and its effects on different intensities of resistance training are yet to be determined.

Objective. To analyze how training intensity and different occlusion pressures affect resistance training with blood flow restriction therapy (BFR).

Material and methods. PRISMA recommendations were followed using clinical trials extracted from PubMed (Medline), Cochrane Library, and PEDro.

Results. Fifteen articles were analyzed to assess how the application of BFR with different occlusion pressure and at different levels of training intensity affects the parameters of strength, muscle activation and atrophy, muscle function, pain, muscle size and perceived exertion.

Conclusions. Exercise intensity and occlusion pressure are clear moderators of the effects of BFR. The optimal way to apply BFR is in combination with low intensity resistance training and high occlusion pressure.

Keywords: Blood Flow Restriction Therapy; Resistance Training; High-Intensity Interval Training; Therapeutic Occlusion

1. INTRODUCCIÓN

La Restricción del Flujo Sanguíneo (BFR) se presenta como un método de entrenamiento que impone una restricción parcial al flujo arterial y una restricción total al flujo venoso en los músculos que se encuentran activos durante el ejercicio¹. Esta práctica, que consiste en realizar ejercicios con una reducción controlada del flujo sanguíneo a través de la vascularización proximal del músculo, tiene sus antecedentes en el trabajo del Dr. Yoshiaki Sato en Japón, quien introdujo el concepto en 1985 como "entrenamiento Kaatsu" que consistía en un entrenamiento con presión adicional. Esta técnica, hoy en día, es globalmente conocida como "entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo (BFR)"¹, la cual ha despertado cierto interés en estos últimos 15 años².

En un principio, esta técnica fue considerada como un medio para estimular el desarrollo muscular. Sin embargo, una comprensión más profunda de sus beneficios fisiológicos y su mecanismo de acción ha dado lugar a innovadoras aplicaciones clínicas, como el entrenamiento de resistencia (para estimular el crecimiento muscular), el ejercicio aeróbico, la estimulación neuromuscular y la aplicación de BFR con ausencia de ejercicio activo para individuos en periodo postoperatorio, inmovilizados, enyesados u hospitalizados, con el propósito de prevenir la atrofia por desuso³.

En su aplicación se utiliza una cinta o manguito neumático con el propósito de limitar parcialmente el flujo sanguíneo arterial² (normalmente entre un 40%-80% de oclusión arterial)⁴, simultáneamente restringiendo el flujo venoso hasta que se libera la presión del manguito. Las cargas utilizadas durante el entrenamiento suelen ser más bajas (20%–30% de 1RM), proporcionando al profesional una estrategia para mitigar la debilidad y la atrofia después de una lesión musculoesquelética o una cirugía, sin exponer excesivamente los tejidos en proceso de recuperación².

Aunque todavía se están investigando los mecanismos exactos de la BFR en el músculo esquelético, actualmente se cree que el estrés metabólico debido a la oclusión vascular y la tensión mecánica causada por el ejercicio de resistencia conducen a aumentos sinérgicos en la hipertrofia y la fuerza muscular. Estudios han implicado los metabolitos, diferencias hormonales, señalización e inflamación celular y vías de señalización intracelulares, como factores clave. Los metabolitos, conocidos mediadores de la hipertrofia muscular, se amplifican bajo condiciones isquémicas e hipóxicas relativas al BFR, induciendo fatiga temprana y resultando así un mayor reclutamiento de unidades motoras, como lo sugiere el hecho de que el BFR bajo cargas bajas tiene un reclutamiento similar al del entrenamiento de

resistencia con cargas altas. Además, las fibras musculares tipo II se activan con cargas más bajas en condiciones de BFR, justificando la mayor hipertrofia en comparación con el ejercicio similar sin oclusión³. Asimismo, a pesar de que el estrés afecta principalmente a los músculos distales a la oclusión^{2,4}, se ha observado un mayor reclutamiento de unidades motoras en los músculos proximales, posiblemente debido a la fatiga temprana de los grupos de músculos sincrónicos distales al área de oclusión³. Aunque los mecanismos específicos se están identificando, se evidencia que el BFR produce cambios clínicamente significativos en la fuerza, la hipertrofia y la angiogénesis^{2,4}.

Es importante tener presente el ancho, el material del manguito y la presión de oclusión que se utilizan durante el entrenamiento con la BFR⁵. Al emplear un manguito más ancho, se puede lograr oclusión arterial a una presión más baja, permitiendo una mayor seguridad del paciente². Existen diferencias entre manguitos elásticos y de nailon, pero estas son mínimas, ejerciendo mayor presión los primeros. Además, se advierte sobre el uso de vendas elásticas, debido a la dificultad para monitorizar la oclusión exacta, lo que podría resultar en restricciones excesivas o inadvertidas del flujo sanguíneo⁵. En relación con la ubicación de este, la recomendación estándar es colocar el manguito en la ubicación más proximal de la extremidad durante el ejercicio².

Existen diferentes tipos de dispositivos con los que aplicar la técnica de la BFR: los considerados "convencionales" y los dispositivos denominados "ajustables". Los primeros, mantienen una presión predefinida del manguito en estado de reposo, generando variaciones en la presión del torniquete durante el ejercicio en respuesta a cambios en la contracción muscular y el volumen de las extremidades. En cambio, los dispositivos "ajustables", adaptan la presión externa durante la actividad física con el objetivo de mantener niveles constantes de oclusión vascular a lo largo de todo el ejercicio⁶.

A pesar de haberse demostrado como una buena forma de entrenamiento, debemos tener en cuenta las consideraciones de seguridad, ya que tiene ciertos efectos secundarios y complicaciones graves. Entre los efectos secundarios comunes, se encuentran el dolor durante el ejercicio, dolor muscular tardío y estrés cardíaco. Entre los más graves, se incluye entumecimiento, lesiones nerviosas, hematomas, mareos, formación de trombos, daño muscular y rabdomiólisis. Las contraindicaciones abarcan diversas condiciones médicas y no existe un cronograma definitivo posquirúrgico para iniciar el entrenamiento BFR. En lo que respecta al riesgo de formación de coágulos sanguíneos, estudios han indicado que el BFR no aumenta significativamente los marcadores de coagulación e incluso podría reducir el riesgo de trombosis venosa profunda². De hecho, la aplicación de la BFR se ha utilizado en

pacientes postoperatorios sin eventos adversos graves, y la mayoría de los investigadores consideran que es relativamente seguro para individuos sin enfermedades cardiovasculares graves. Sin embargo, se requiere de más investigación para comprender completamente los mecanismos de adaptación de la BFR y abordar cuestiones pendientes, como las cargas externas, el tipo de manguito y la naturaleza continua o intermitente de la restricción⁴.

En resumen, el entrenamiento BFR puede ofrecer beneficios significativos en cuanto al tamaño y la fuerza muscular, mejorando así la función física y aumentando la resistencia. Además, esta técnica puede complementar los protocolos de ejercicio tradicionales para lograr adaptaciones positivas en rendimiento neuromuscular aeróbico y anaeróbico⁴. No obstante, aún no se ha determinado cuál es la presión de oclusión óptima ni si sus efectos varían al aplicarse a un entrenamiento de resistencia de baja o alta intensidad.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta revisión sistemática es analizar cómo afecta la intensidad del entrenamiento y las diferentes presiones de oclusión en el entrenamiento de resistencia con la terapia de restricción del flujo sanguíneo (BFR), a través de la lectura y análisis de los estudios publicados en los últimos cinco años.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar si hay diferencia en los resultados entre los entrenamientos de alta y baja intensidad.
- Determinar cuál es la presión de oclusión óptima de la terapia de restricción del flujo sanguíneo.
- Comparar el grado de eficacia del entrenamiento de resistencia con la aplicación de la BFR y con la ausencia de este.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar la presente revisión con unos criterios de calidad aceptables, se han seguido las indicaciones de la guía PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)⁷. Por otro lado, para establecer los criterios de elegibilidad y/o centrar los objetivos de dicha revisión se ha utilizado la estrategia PICOS (Pacientes, Intervención, Comparación, Resultados y Estudio) (Tabla 1). También se ha empleado el Manual de Cochrane para el análisis del sesgo de los estudios⁸.

Este trabajo no se encuentra registrado ya que forma parte del trabajo de final de grado de Fisioterapia de la Universidad Rovira i Virgili dentro del curso académico 2023-24. Se ha comprobado que no exista otra revisión idéntica a la que se quiere desarrollar en este trabajo en la base de datos PROSPERO (*International prospective register of systematic reviews*) con la búsqueda “BFR”, “*blood flow restriction*” y “*blood flow restriction therapy*”.

3.1 Criterios de elegibilidad

Los estudios utilizados para realizar esta revisión han sido escogidos estableciendo los criterios de inclusión y exclusión según el acrónimo PICOS, tal y como se detalla en la tabla 1:

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión según el acrónimo PICOS

PICOS	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
P: Problema o paciente	Adultos y menores de edad sanos y afectados de patología musculoesquelética	Ensayos realizados con animales.
I: Intervenciones	Intervenciones donde se aplique la intervención BFR	Intervenciones donde no se aplique la terapia de restricción de flujo sanguíneo.
C: Comparación	Estudios donde se incluya el tratamiento BFR por sí solo o junto con otro tipo de terapias. Estudios donde se compara la aplicación BFR con grupos control (sin BFR)	Estudios que no incluyan el BFR como técnica de tratamiento.
O: Resultados	Parámetros cuantitativos o cualitativos que comparen la efectividad de los tratamientos aplicados y valoren al menos una de las siguientes variables: presión de oclusión, intensidad y resistencia.	Parámetros que no comparen la efectividad de los tratamientos aplicados y/o no valoren ninguna de las siguientes variables: presión de oclusión, intensidad y resistencia.
S: Tipo de estudio	Ensayos clínicos o ensayos controlados aleatorizados, antigüedad de los estudios no superior a 5 años (2018-2023), estudios indexados.	Estudios que no sean ensayos clínicos o ensayos controlados aleatorizados, antigüedad de los estudios superior a 5 años, estudios no indexados con falta de rigor científico.

3.2 Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica para la elaboración de esta revisión se realizó en diversas bases de datos: Pubmed (Medline), Cochrane Library y PEDro, en el periodo entre noviembre y diciembre del 2023.

Las palabras clave que se han utilizado en cada buscador son las siguientes:

- PubMed: (*blood flow restriction*) AND (*occlusion*) AND (*resistance*) AND (*intensity*)
- PEDro: (*blood flow restriction*) AND (*occlusion*) AND (*resistance*) AND (*intensity*)
- Cochrane Library: (*blood flow restriction*) AND (*occlusion pressure*) AND (*resistance*) AND (*intensity*)

La evaluación de la elegibilidad de los estudios y la extracción de datos ha sido realizada por tres personas de manera independiente, tal como se aconseja en el Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones⁸. Los desacuerdos que han surgido durante el proceso se han resuelto mediante la discusión entre los integrantes del grupo.

3.3 Proceso de selección de los estudios

La selección de los estudios empleados en la revisión se ha realizado siguiendo las fases de la Guía PRISMA: identificación, cribaje, elegibilidad e inclusión de los estudios en la revisión sistemática⁷.

En primer lugar, se realizó la búsqueda en las bases de datos Pubmed (Medline), Cochrane Library y PEDro añadiendo los filtros "*Clinical Trials*", "*Randomized Controlled Trial*", "*humans*" y "*5 years*". A continuación, se procedió a: 1) una primera selección/eliminación en función del título; 2) Si el título estaba relacionado con el tema de interés, se procedía a la lectura del resumen; 3) de los escogidos tras la lectura del resumen se seleccionaban los que, en principio, cumplían los criterios de inclusión; 4) posteriormente se identificaron los artículos duplicados; 5) se realizó la lectura completa de los estudios para comprobar el cumplimiento de todos los criterios de inclusión y, finalmente, 6) se incluían en la revisión y se procedía a la extracción de datos

De esta manera, se eliminaron aquellos estudios que no cumplían los criterios deseados, mencionados anteriormente, y se consiguieron un total de 15 ensayos para la realización de la presente revisión.

3.4 Análisis de datos

Una vez seleccionados los ensayos, los investigadores de este trabajo procedieron a la realización de dos análisis: sobre la calidad metodológica de los estudios mediante la normativa del Manual Cochrane⁸ y sobre los datos de los estudios, siguiendo los parámetros PICOS.

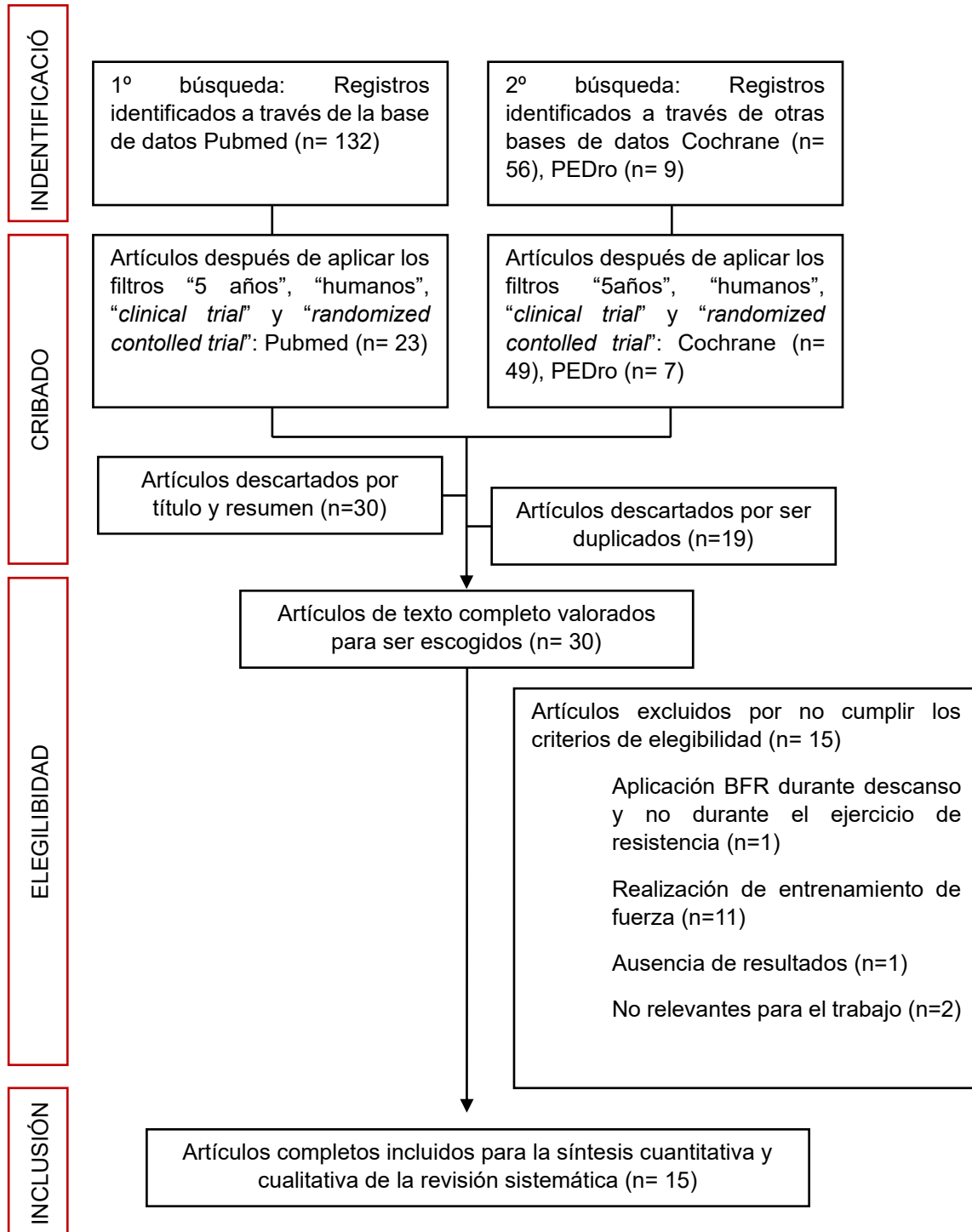
La información que se analiza de cada artículo es: características del participante, metodología en la aplicación del BFR, presión de oclusión, tipología del entrenamiento, resultados i conclusiones, limitaciones, criterios de inclusión i exclusión e información de relevancia.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados de búsqueda

La búsqueda se realizó en las bases de datos Pubmed (Medline), Cochrane Library y PEDro. En total se obtuvieron 197 artículos, que pasaron a ser 79 tras poner los filtros mencionados anteriormente. Después, se descartaron 30 ensayos por la lectura del título y resumen y 19 por ser duplicados. Por tanto, se procedió a la lectura completa de 30 artículos, de los cuales únicamente 15 cumplían los criterios de inclusión (Figura 1)

Figura 1. Diagrama de Flujo



4.2 Características de los estudios

Para la realización de esta revisión se analizaron 15 ensayos con un total de 400 participantes. A continuación, se muestra de forma detallada y de manera específica las características de cada estudio: los participantes, las intervenciones que se aplicaron, las medidas que se realizaron y las conclusiones que se extrajeron (Tabla 2).

Tabla 2: Características de los estudios

Autor, año	Participantes	Intervenciones	Medidas	Conclusiones
Curran MT et al., 2020 ⁹	<p>Reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR) (n= 34)</p> <p>Edad (\bar{x} = 16,5 \pm 2,7 años)</p> <p>Mujeres (n= 19)</p> <p>Hombres (n=15)</p> <p>Análisis primario:</p> <p>GP1: (n=9)</p> <p>Mujeres (n= 4)</p> <p>Hombres (n=5)</p> <p>GP2: (n=9)</p> <p>Mujeres (n= 4)</p> <p>Hombres (n=5)</p> <p>GC1: (n=8)</p> <p>Mujeres (n= 5)</p> <p>Hombres (n=3)</p> <p>GC2: (n=8)</p> <p>Mujeres (n= 6)</p> <p>Hombres (n=2)</p> <p>Análisis secundario</p> <p>GP: (n=16)</p> <p>Mujeres (n= 11)</p> <p>Hombres (n=5)</p>	<p>Prensa de piernas monopodal a una intensidad del 70% de la repetición máxima de cada paciente durante la acción correspondiente a cada grupo, realizando 4 series de 10 repeticiones 2 veces por semana durante 8 semanas a partir de las 10 semanas del postoperatorio.</p> <p>Análisis primario:</p> <p>GP1: Ejercicio concéntrico con BFR con un 80% de presión de oclusión</p> <p>GP2: Ejercicio excéntrico con BFR con un 80% de presión de oclusión</p> <p>GC1: Ejercicio concéntrico únicamente</p> <p>GC2: Ejercicio excéntrico únicamente</p> <p>Análisis secundario</p> <p>GP: Ejercicio concéntrico y excéntrico con BFR con un 80% de presión de oclusión</p> <p>GC: Ejercicio concéntrico y excéntrico sin BFR</p>	<p>Fuerza muscular: dinamómetro</p> <p>Volumen recto femoral: ecografía</p> <p>musculoesquelética</p> <p>Porcentaje de activación muscular voluntaria: CAR</p> <p>Funcionalidad: cuestionario IKDC</p> <p>Presión piernas: 1RM</p>	<p>El ejercicio de resistencia de alta intensidad con BFR en el programa de rehabilitación de LCA no mejora significativamente la recuperación en cuanto a la fuerza, activación o atrofia del músculo cuádriceps en comparación con el ejercicio de alta intensidad sin BFR</p>

	GC: (n=18) Mujeres (n= 8) Hombres (n=10)			
Park HS <i>et al.</i> ,2022 ¹⁰	Mujeres sometidas a OTA (n= 42) Edad (\bar{x} =55 \pm 10 años) GP1: (n=13) GP2: (n=14) GC: (n=15)	A todos los participantes se les administró el mismo protocolo LIE (dividido en fase sin carga de peso de 6 semanas y fase con carga total de peso de 6 semanas) e hicieron el programa de ejercicios dos veces por semana durante 12 semanas. GP1: 80% AOP GP2: 40% AOP GC: no aplicación BFR	Intensidad ejercicio: OMNI-RES Pulso: ecografía Doppler CSA de los músculos del muslo: IRM Contracción isométrica voluntaria máxima del extensor de la rodilla: dinamómetro isocinético Dolor: escala EVA Funcionalidad: cuestionario IKDC	La aplicación de BFR al 80% de AOP es eficaz para prevenir la atrofia de la musculatura del muslo, aumentar la fuerza muscular y mejorar la función. También se concluye que el LIE con BFR puede contribuir a la reducción del dolor posoperatorio y a la mejora de la función.
Hill EC <i>et al.</i> , 2021 ¹¹	Mujeres sanas activas (n=20) Edad (\bar{x} =23 \pm 3 años) GP: (n=10) GC: (n= 10)	Durante un período de 4 semanas, tres veces por semana: GP: entrenamiento de resistencia concéntrica recíproca en flexión y extensión del antebrazo del brazo dominante con restricción del flujo sanguíneo de baja carga (40% AOP) GC: no realiza ningún entrenamiento	Fuerza muscular: dinamómetro isocinético, torque máximo concéntrico y MVIC (valores de torque máximo concéntrico y contracción isométrica voluntaria máxima) Hipertrofia muscular: dispositivo de imágenes de ultrasonido portátil en modo de brillo y una sonda de matriz lineal multifrecuencia Presión oclusión arterial: ultrasonido portátil	Después de un período de 4 semanas, el entrenamiento de resistencia en flexión-extensión del antebrazo utilizando restricción del flujo sanguíneo de baja carga produjo incrementos en el grosor muscular, el torque máximo concéntrico y el torque MVIC. Sin embargo, no se observaron efectos sobre la intensidad del eco.
Lopes KG <i>et al.</i> , 2022 ¹²	Individuos sanos no entrenados (n=32) Edad (\bar{x} = 72 \pm 7 años)	GP1: Entrenamiento de resistencia con BFR de baja intensidad (30% de 1RM con BFR equivalente a 50% de	Fuerza muscular: 1RM Presión oclusión arterial: Doppler vascular portátil	El entrenamiento de resistencia aplicado con BFR de baja intensidad y un nivel de oclusión leve, fue eficaz para poder

	<p>Hombres (n= 10) Mujeres (n= 22)</p> <p>GP1: (n= 12) GP2: (n=10) GC1: (n= 10)</p> <p>No se especifica el número de mujeres y hombres por grupo.</p>	<p>presión oclusión arterial en reposo, en tercio proximal brazos y piernas)</p> <p>GP2: Entrenamiento de resistencia de alta intensidad (70 % de 1RM sin BFR)</p> <p>GC: Entrenamiento de resistencia de baja intensidad (30% de 1RM sin BFR)</p>	<p>Composición corporal: absorciometría dual de rayos X</p> <p>Agarre manual: dinamómetro de mano</p> <p>Fuerza isocinética: dinamómetro isocinético</p> <p>Flujo sanguíneo antebrazo: VOP</p> <p>Función microvascular y morfología: NVC</p> <p>Biomarcadores sanguíneos: kits ELISA Human Quantikine</p>	<p>aumentar la fuerza y masa muscular y mejorar los biomarcadores relacionados con la hipertrofia, respeto a los demás grupos. Por lo tanto, se podría incluir como una estrategia coadyuvante segura en personas mayores con poca tolerancia a cargas elevadas. Además, se observó una disminución de la función microvascular y cambios en las células del músculo liso.</p>
Hill EC <i>et al.</i> , 2020 ¹³	<p>Mujeres sanas (n= 30)</p> <p>Edad (\bar{x} = 22 ± 2 años)</p> <p>GP1 (n=10) GP2 (n= 10) GC (n=10)</p>	<p>Durante un período de 4 semanas, tres veces por semana. Realizan entrenamiento de resistencia concéntrico recíproco en flexión-extensión del antebrazo (brazo dominante) al 30% del torque máximo de flexión del antebrazo y del torque máximo de extensión del antebrazo.</p> <p>GP1: Entrenamiento de resistencia con BFR (40% AOP) GP2: Entrenamiento de resistencia sin BFR GC: no realiza ningún entrenamiento</p>	<p>Fuerza muscular: dinamómetro isocinético, torque máximo concéntrico y MVIC (valores de torque máximo concéntrico y contracción isométrica voluntaria máxima)</p> <p>Actividad muscular: EMG y MMG</p> <p>CSA del músculo, grosor del músculo e intensidad del eco: ultrasonido portátil y una sonda de matriz lineal multifrecuencia</p> <p>Presión oclusión arterial: ultrasonido portátil</p>	<p>El entrenamiento de resistencia con carga baja con BFR generó incrementos superiores en la fuerza concéntrica en comparación con el entrenamiento de resistencia con carga baja únicamente. Sin embargo, ambos tipos de entrenamiento produjeron aumentos similares en la fuerza isométrica y el tamaño muscular. Además, no se observaron diferencias en ninguna de las respuestas EMG y MMG entre las diferentes condiciones de entrenamiento.</p>
Fatela P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁴	<p>Hombres jóvenes sanos (n=10)</p> <p>Edad (\bar{x} = 23,8 ± 5,4 años)</p>	<p>Diseño experimental cruzado:</p> <p>Ejercicio resistencia 1: LI al 20% 1RM</p>	<p>Fuerza muscular: 1RM y dinamómetro isocinético.</p>	<p>El entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR es una alternativa al entrenamiento de resistencia HI para realizar</p>

	GP: (n=10)	Ejercicio resistencia 2: LI BFR al 20% 1RM (80% AOP) Ejercicio resistencia 3: HI al 75% 1RM	Presión de oclusión vascular: sonda Doppler vascular Actividad electromiográfica de superficie: sistema EMG inalámbrico Trigno Torque: contracciones voluntarias máximas (MVC)	ejercicios de extensión de rodilla dirigidos al músculo recto femoral. A pesar de mejorar la magnitud aguda de la activación muscular y la fatiga, el ejercicio LI BFR ejerce un impacto menos profundo en la función neuromuscular que el entrenamiento de resistencia HI.
Letieri RV <i>et al.</i> , 2018 ¹⁵	Mujeres sanas (n= 56) Edad (\bar{x} = 68,8 ± 5,09 años) GP1: (n= 11) GP2: (n=11) GP3: (n=10) GP4: (n=12) GC: (n=12)	Entrenamiento de BFR de cuádriceps femoral. GP1: Ejercicio de baja intensidad con restricción del flujo sanguíneo "Alto" (LI + BFR_H) GP2: Ejercicio de baja intensidad con restricción del flujo sanguíneo "Bajo" (LI + BFR_L) GP3: Ejercicio de alta intensidad (HI) GP4: Ejercicio de baja intensidad (LI) GC: Grupo de control sin ejercicio (CON)	IMC: báscula antropométrica mecánica Fuerza muscular: 1RM, dinamómetro isocinético y cicloergómetro preliminar Presión de oclusión vascular: GP1: fórmula propuesta por Loenneke <i>et al.</i> (2014) GP2: Doppler vascular	El ejercicio de resistencia de baja intensidad con BFR en mujeres mayores aumenta los niveles de fuerza muscular en una medida similar al ejercicio HI sin oclusión, tras 16 semanas de intervención, especialmente con las presiones de oclusión más altas.
Soligon SD <i>et al.</i> , 2018 ¹⁶	Hombres sanos sin patologías musculoesqueléticas (n=12) Edad (\bar{x} = 24,5 ± 1,5 años) GP: (n=12)	Diseño cruzado aleatorio: Protocolo 1: entrenamiento de resistencia con BFR al 40 % de la presión de oclusión (BFR40) y 30 % de 1RM Protocolo 2: entrenamiento de resistencia con BFR al 50 % de la	Esfuerzo percibido: Escala estándar de Borg de 6 a 20 Dolor: escala EVA Fuerza dinámica máxima: 1RM Presión de oclusión arterial: sonda Doppler vascular	Los protocolos de BFR de baja presión (BFR40 y BFR50) promueven un menor RPE y dolor en comparación con los protocolos de BFR alto (entre 60% y 80% de la presión de oclusión) cuando se iguala el TTV. Además, la BFR de baja presión promueve un RPE más

		<p>presión de oclusión (BFR50) y 30 % de 1RM</p> <p>Protocolo 3: entrenamiento de resistencia con BFR al 60% de la presión de oclusión (BFR60) y 30 % de 1RM</p> <p>Protocolo 4: entrenamiento de resistencia con BFR al 70% de presión de oclusión (BFR70) y 30 % de 1RM</p> <p>Protocolo 5: entrenamiento de resistencia con BFR al 80% de la presión de oclusión (BFR80) y 30 % de 1RM</p> <p>Protocolo control: RE-HI (80 % de 1RM)</p>		bajo, pero niveles de dolor similares a los del RE-HI
Freitas EDS <i>et al.</i> , 2020 ¹⁷	<p>Individuos activos que no habían participado en ningún programa de entrenamiento de resistencia (n= 29)</p> <p>Edad ($\bar{x} = 21,90 \pm 2,70$ años) Hombres (n= 14) Mujeres (n= 15)</p> <p>GP: (n=29)</p>	<p>Diseño cruzado aleatorio:</p> <p>Ejercicio 1: ejercicio de resistencia de baja carga con BFR tradicional (tBFR: 30% de 1RM y 50% de la presión de oclusión arterial total)</p> <p>Ejercicio 2: ejercicio de resistencia de baja carga con BFR práctico (pBFR: 30% de 1RM y 7 en una escala de presión percibida).</p> <p>Ejercicio 3: ejercicio de resistencia de baja carga sin BFR (LL: 30% de 1RM)</p>	<p>Presión restrictiva: sonda Doppler bidireccional de mano (tBFR) y escala de presión percibida de 0 a 10 (pBFR)</p> <p>Fuerza muscular dinámica máxima: 1RM</p> <p>Actividad mioeléctrica del músculo vasto lateral: Electromiografía de superficie</p> <p>Lactato de sangre total: analizador de lactato portátil</p>	<p>Los hombres y las mujeres pueden mostrar diferentes respuestas fisiológicas, como la actividad mioeléctrica, respuesta metabólica y la inflamación muscular, durante y después del entrenamiento de resistencia. Se probó que los hombres mostraban mayores respuestas en términos de activación muscular y metabolismo en comparación con las mujeres, posiblemente debido a diferencias en la masa muscular y la actividad enzimática. Además, se demostró que el</p>

		Ejercicio 4: resistencia de alta carga ejercicio sin BFR (HL: 80% de 1-RM).	<p>Espesor del músculo: ultrasonido y cabezal de escaneo de 5MHz</p> <p>Circunferencia del muslo: cinta métrica</p> <p>Niveles de hematocrito y cambios en el volumen plasmático: analítica de sangre</p>	<p>ejercicio de alta carga provocaba mayores respuestas fisiológicas en comparación con los protocolos de oclusión vascular (tBFR y pBFR)</p> <p>Sin embargo, hubo discrepancias en cómo estas respuestas se relacionaron con la inflamación muscular.</p>
Ladlow P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	<p>Participantes masculinos con lesiones de extremidades inferiores (n=28)</p> <p>Edad (\bar{x} = 34 ± 15 años)</p> <p>GP1: (n=14)</p> <p>GP2: (n=14)</p>	<p>GP1: protocolo RT de baja carga (30% 1RM) combinado con BFR (AOP predeterminado del 60%)</p> <p>GP2: protocolo RT convencional (alta carga: 70% 1RM)</p>	<p>Presión de oclusión: sonda Doppler vascular MD2</p> <p>Hipertrofia muscular: CSA muscular y Volumen de cuádriceps.</p> <p>Fuerza muscular: extensión de rodilla y prensa de piernas (5 RM), extensión isométrica de cadera (dinamómetro de mano inalámbrico digital)</p> <p>Resistencia: prueba de locomoción multietapa (MSLT)</p> <p>Equilibrio: prueba Y balance</p> <p>Dolor: escala EVA</p>	<p>Este estudio demuestra que el ejercicio LL-BFR dos veces al día al 30% de 1RM se puede implementar de manera segura y efectiva en un entorno de rehabilitación con MDT para pacientes hospitalizados. Además, este permite obtener mejoras significativas en la hipertrofia, la fuerza y la función de los músculos de las extremidades inferiores después de 3 semanas de rehabilitación hospitalaria. De esta manera obtendremos unas mayores ganancias en la función física en comparación con la RT convencional.</p>
Calatayud J <i>et al.</i> , 2023 ¹⁹	<p>Personas con hemofilia grave sometidas a tratamiento profiláctico (n=8)</p> <p>Edad (\bar{x} = 44,5)</p> <p>GP: (n=8)</p>	<p>Diseño experimental cruzado:</p> <p>Ejercicio de extensión de rodilla en sedestación:</p> <p>Protocolo 1: carga baja externa y sin BRF</p>	<p>Altura: estadiómetro</p> <p>Masa corporal: analizador de composición corporal.</p> <p>Presión arterial: monitor de presión arterial automático.</p>	<p>Personas con hemofilia grave sometidas a tratamiento profiláctico, 3 repeticiones consecutivas de ejercicio de extensión de rodilla realizadas con resistencia LL y BFR concurrente al 20% o 40% AOP</p>

		<p>Protocolo 2: carga baja externa con 20% AOP</p> <p>Protocolo 3: carga baja externa con 40% AOP</p> <p>Protocolo 4: sin carga externa y sin BFR</p> <p>Protocolo 5: sin carga externa y 20% de la presión de oclusión arterial</p> <p>Protocolo 6: sin carga externa y 40% AOP</p>	<p>Esfuerzo: escala Borg y Tasa de Esfuerzo Percibido</p> <p>Dolor: escala numérica de dolor de 11 puntos.</p> <p>Grado de tolerabilidad percibida: escala de 5 puntos.</p> <p>Grado de artropatia hemofilia: Hemophilia Joint Health Score 2.1.</p>	<p>parecen seguras, factibles y sin causar aumentos agudos o retardados en el dolor muscular.</p>
<p>Fekri-Kourabbaslou V <i>et al.</i>, 2022²⁰</p>	<p>Hombres jóvenes sanos (n=20)</p> <p>Edad (\bar{x} = 23 ± 3 años)</p> <p>GP1 (n= 10)</p> <p>GP2 (n= 10)</p>	<p>GP1: recuperación activa durante el entrenamiento de resistencia con BFR</p> <p>GP2: recuperación pasiva durante el entrenamiento de resistencia con BFR</p>	<p>Masa corporal: báscula digital</p> <p>Altura: estadiómetro</p> <p>IMC</p> <p>PAS y PAD: esfigomanómetro</p> <p>Circunferencia de cuádriceps y brazo: cinta métrica</p> <p>PP, MP y AP: prueba anaeróbica de Wingate de 30 s</p> <p>Fuerza: 1RM y test de salto de Sargent</p>	<p>Los hallazgos indicaron que al aumentar la activación muscular y la carga metabólica, la AR durante el entrenamiento de resistencia con BFR podría causar mejoras más notables en la GH sérica, la fuerza muscular y la resistencia. Por lo tanto, para obtener mayores beneficios, se recomienda AR durante el entrenamiento con BFR.</p>
<p>Mahmoud WS <i>et al.</i>, 2021²¹</p>	<p>Hombres con osteoartritis de rodilla sintomática (n= 35)</p> <p>Edad (\bar{x} = 57.5 ± 7.5 años)</p> <p>GP1: (n=18)</p> <p>GP2: (n=17)</p>	<p>GP1: RE LI-BFR parcial (50 % de la presión de oclusión total)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10% de 1RM (n=9) • 30% de 1RM (n=9) <p>GP2: RE LI-BFR parcial (70 % de la presión de oclusión total)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10% de 1RM (n=9) • 30% de 1RM (n=8) 	<p>Fuerza: 1RM, dinamómetro isocinético</p> <p>Presión de oclusión: tensiómetro digital</p> <p>CSA del cuádriceps: ecografía Doppler</p> <p>Dolor: escala EVA</p>	<p>La restricción parcial del flujo sanguíneo asociada con el entrenamiento de resistencia de baja intensidad tiene un impacto positivo en el tamaño y la fuerza de los músculos.</p> <p>Una combinación del 70% de la presión de oclusión total con el 30% de 1RM, podría ser beneficiosa en ancianos PwKOA para mejorar el dolor, aumentar la</p>

				fuerza del cuádriceps y su área transversal.
Lambert B <i>et al.</i> , 2021 ²²	Adultos sanos no entrenados (n=32) Edad (\bar{x} = 31,5 ± 13,5 años) GP1: (n=16) Hombres (n=13) Mujeres (n=3) GC: (n=16) Hombres (n=10) Mujeres (n=6)	Ejercicio de resistencia de un 20% de la fuerza máxima: <ul style="list-style-type: none">• Grupo BFR (entrenamiento con 50% de oclusión de extremidades)• Grupo sin BFR (entrenamiento sin oclusión de extremidades)	Medición de masa magra: absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA) Fuerza: dinamómetro de mano Presión de oclusión: sistema de torniquete automatizado Indicador de la activación muscular: electromiografía de superficie inalámbrica (Trigno; Delsys)	El uso de BFR aplicado alrededor del brazo proximal aumenta la adaptación a la LIE a través de mayores incrementos en la masa muscular de todo el brazo y de la región del hombro, fuerza-resistencia y algunas medidas clínicas de fuerza isométrica (aunque aparentemente limitadas) en comparación con la LIE sola.
Lixandrão M.E <i>et al.</i> , 2018 ²³	Hombres jóvenes (n=12) Edad (\bar{x} = 20 ± 3 años) GP: (n=12)	Diseño experimental cruzado aleatorio: Los ejercicios de resistencia se realizaron bilateralmente utilizando una máquina de prensa de piernas de 45° <ul style="list-style-type: none">• Protocolo 1: Ejercicio de resistencia de alta intensidad (HI-RE) con una carga del 80% 1RM.• Protocolo 2: Ejercicio de resistencia de baja intensidad (LI-RE) al 30% 1RM.• Protocolo 3: Ejercicio de resistencia de baja intensidad asociado con restricción del flujo sanguíneo (RE LI-BFR) del 50% de AOP, con una carga al 30% 1-RM.	Fuerza: 1RM Presión de oclusión: sonda Doppler vascular. Esfuerzo percibido: método de Borg (escala adaptada de 10 puntos). Dolor: escala CR-10 de Borg.	Los resultados del estudio mostraron que, cuando se llevó a la falla muscular, no hubo diferencias significativas entre el RPE y el dolor percepción entre RE-HI y RE-LI; por otro lado, tanto RE-HI como RE-LI demostraron RPE y percepción del dolor significativamente mayores en comparación con RE LI-BFR. Además, los valores de RPE significativamente son más bajos después de RE-LI BFR en comparación con RE-HI y RE-LI. Es decir que RE-LI BFR puede ser una estrategia viable para promover adaptaciones musculares similares a RE-HI y RE-LI con menor percepción del esfuerzo y dolor.

ABREVIATURAS: GP (Grupo Programa), GC (Grupo Control), BFR (Restricción del Flujo Sanguíneo), ACLR (Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior) CAR (*Central Activation Radio*), IKDC (Comité Internacional de Documentación de la Rodilla), RM (Repetición Máxima), LCA (Ligamento Cruzado Anterior), OTA (Osteotomía Tibial Alta), LIE (*Low-Intensity resistance Exercise*), AOP (Presión de Oclusión Arterial), CSA (Área de Sección Transversal), OMNI-RES (*OMNI Resistance Exercise Scale*), IRM (Imagen por Resonancia Magnética), EVA (Escala Visual Analógica), VOP (Pletismografía de Oclusión Venosa), NVC (Videocapilaroscopia del Pliegue Ungueal), EMG (Electromiografía), MMG (Mecanomiografía), LI (*Low Intensity*), HI (*High Intensity*), RE (Ejercicio de Resistencia), IMC (Índice de Masa corporal), BFRT (*Blood Flow Restriction Training*), RT (*Resistance Training*), RPE (esfuerzo percibido), TTV (Volumen Total de Entrenamiento), PAS (Presión Arterial Sistólica), PAD (Presión Arterial Diastólica), PP (Potencia máxima), MP (Potencia mínima), AP (Potencia promedio), MDT (Equipo Multidisciplinario), LL-BFR (Entrenamiento de baja carga con Flujo Sanguíneo Restringido), GH (Hormona de crecimiento), AR (Recuperación activa), PwKOA (*Persons with Knee Osteoarthritis*), DEXA (Absorciometría de rayos X de doble energía).

4.3 Análisis del riesgo de sesgo

Se ha analizado el riesgo de sesgo de los 15 artículos seleccionados para realizar la presente revisión siguiendo la Normativa del Manual de Cochrane (Tabla 3) valorando tanto el sesgo de selección, que incluye la aleatorización y la ocultación de asignación; el sesgo de realización, donde entran el cegamiento de participantes e investigadores; el sesgo de detección, que contiene el cegamiento de los evaluadores; el sesgo de deserción, donde se incluyen los datos de resultado incompletos y, finalmente, el sesgo de descripción selectiva de los resultados.

Tabla 3: Análisis del riesgo de sesgo de cada estudio

	Aleatorización	Ocultación de asignación	Ciego de participantes e investigadores	Ciego de evaluadores	Datos de resultado incompletos	Notificación selectiva de los resultados	Riesgo de sesgo
Curran MT <i>et al.</i> , 2020 ⁹	+	+	-	-	+	+	Riesgo bajo
Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	+	+	+	+	+	+	Riesgo bajo
Hill EC <i>et al.</i> , 2021 ¹¹	+	-	-	-	+	+	Riesgo moderado
Lopes KG <i>et al.</i> , 2022 ¹²	+	-	-	-	+	+	Riesgo moderado
Hill EC <i>et al.</i> , 2020 ¹³	+	-	-	-	+	+	Riesgo moderado
Fatela P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁴	+	-	-	-	-	+	Riesgo alto

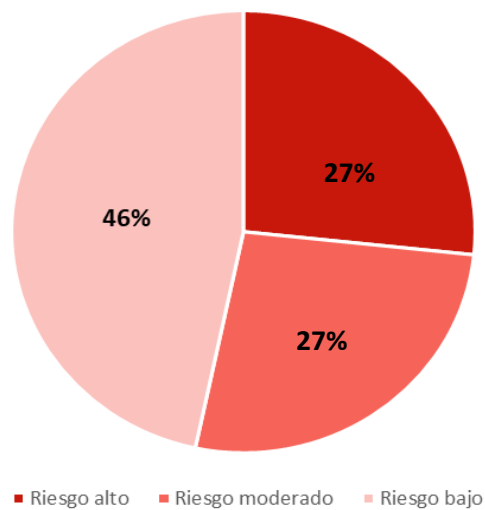
Letieri RV <i>et al.</i> , 2018 ¹⁵	+	+	+	+	+	+	Riesgo bajo
Soligon SD <i>et al.</i> , 2018 ¹⁶	+	-	-	-	-	+	Riesgo alto
Freitas EDS <i>et al.</i> , 2020 ¹⁷	+	-	-	-	-	+	Riesgo alto
Ladlow P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	+	+	-	+	+	+	Riesgo bajo
Calatayud J <i>et al.</i> , 2023 ¹⁹	+	-	-	-	+	+	Riesgo moderado
Fekri-Kourabbaslou V <i>et al.</i> , 2022 ²⁰	+	+	-	-	+	+	Riesgo bajo
Mahmoud WS <i>et al.</i> , 2021 ²¹	+	+	-	+	+	+	Riesgo bajo
Lambert B <i>et al.</i> , 2021 ²²	+	-	-	+	+	+	Riesgo bajo
Lixandrão M.E <i>et al.</i> , 2018 ²³	+	-	-	-	-	-	Riesgo alto

+: bajo riesgo de sesgo, -: alto riesgo de sesgo

4.4 Análisis de la calidad metodológica de los estudios

Del total de los estudios analizados, 4 de 15 tienen un riesgo de sesgo alto, ya que se trata de estudios en los que no se ha ocultado la asignación, no se han realizado ciegos y los datos de resultado eran incompletos. Por otra parte, 4 artículos tienen un riesgo de sesgo moderado, ya que no se ha ocultado la asignación de la intervención ni a los participantes e investigadores ni a los evaluadores. Finalmente, los 7 artículos restantes presentan un riesgo de sesgo bajo, los cuales aportan más fiabilidad a la revisión.

Figura 2. Gráfico de los porcentajes del riesgo de sesgo



4.5 Análisis de los resultados de cada estudio

Antes de realizar el resumen de los resultados sacados de cada estudio analizado, se muestra mediante la Tabla 4 la relación de los artículos que emplean la BFR con la misma finalidad y los resultados relevantes obtenidos. Además, en el anexo 1 se muestran otros parámetros analizados en los estudios los cuales, aunque son interesantes, no son relevantes para nuestra revisión ya que no existe la posibilidad de comparación entre ellos.

Tabla 4. Relación entre estudios, finalidad de la aplicación de la BFR y resultados

	Autor, año	Resultados relevantes
Fuerza muscular	Curran MT <i>et al.</i> , 2020 ⁹	No mejoría de fuerza del cuádriceps en RE HI-BFR (70% de 1RM y 80% AOP) respecto al RE-HI
	Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	Aumento de la fuerza muscular del muslo con RE LI-BFR (80% de la AOP) respecto RE LI-BFR (40% AOP) y RE-LI
	Hill EC <i>et al.</i> , 2021 ¹¹	Aumento de la fuerza muscular isométrica y concéntrica con RE LI-BFR (30% del torque máximo y un 40% AOP)
	Lopes KG <i>et al.</i> , 2022 ¹²	Aumento de la fuerza muscular con RE LI-BFR (30% de 1 RM y 50% rAOP) respecto a RE-HI (70% de 1RM) y RE-LI
	Hill EC <i>et al.</i> , 2020 ¹³	Aumento fuerza concéntrica en RE LI-BFR (30% del torque máximo y 40% AOP) respecto a RE-LI No diferencias en fuerza isométrica
	Letieri RV <i>et al.</i> , 2018 ¹⁵	Aumento fuerza muscular con RE LI-BFR (20-30% de 1RM) equiparable con RE-HI (70-80% 1RM)
	Ladlow P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	Aumento fuerza muscular en EEII con RE LI-BFR (30% de 1RM y 60% AOP) respecto RE-HI (70% de 1RM)
	Fekri-Kourabbaslou V <i>et al.</i> , 2022 ²⁰	Aumento fuerza muscular con una AR respecto a una PR (30% de 1 RM y 60% AOP que aumentó 10% cada dos semanas)
	Mahmoud WS <i>et al.</i> , 2021 ²¹	Aumento fuerza cuádriceps con RE LI-BFR (30% de 1RM y 70% AOP) respecto RE LI-BFR (10% de 1RM y 70% AOP) y RE LI-BFR (10% y 30% de 1RM y 50% AOP)
	Lambert B <i>et al.</i> , 2021 ²²	Aumento fuerza muscular de ES con RE LI-BFR (20% de 1RM y 50% de AOP) respecto a RE-LI
Activación muscular	Curran MT <i>et al.</i> , 2020 ⁹	No mejoría de la activación muscular del cuádriceps en RE HI-BFR (70% de 1RM y 80% AOP) respecto al RE-HI
	Fatela P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁴	Aumento de la activación muscular con RE LI-BFR (20% de 1RM y 80% AOP) respecto a RE-LI
	Freitas EDS <i>et al.</i> , 2020 ¹⁷	Hombres mostraron mayor respuesta en comparación con las mujeres con RE-HI (80% 1 RM) respecto a tBFR (30% de 1RM y 50% AOP) y pBFR. (30% 1RM y 7 en escala de presión percibida)
	Calatayud J <i>et al.</i> , 2023 ¹⁹	No cambio en activación neuromuscular ni distribución espacial de la activación muscular con RE LI-BFR (20% - 40% AOP) respecto a RE-LI
Atrofia muscular	Curran MT <i>et al.</i> , 2020 ⁹	No mejoría de atrofia del cuádriceps en RE HI-BFR (70% de 1RM y 80% AOP) respecto al RE-HI
	Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	Prevención atrofia muscular del muslo con RE LI-BFR (80% de la AOP) respecto RE LI-BFR (40% AOP) y RE-LI

Función muscular	Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	Mejoría función muscular del muslo con RE LI-BFR (80% de la AOP) respecto RE LI-BFR (40% AOP) y RE-LI
	Ladlow P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	Aumento función muscular en EEII con RE LI-BFR (30% de 1RM y 60% AOP) respecto RE-HI (70% de 1RM)
Dolor	Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	Posible contribución a la reducción del dolor postoperatorio con RE LI-BFR (80% de la AOP)
	Soligon SD <i>et al.</i> , 2018 ¹⁶	Disminución dolor con BFR de baja presión (40-50% AOP) y 30% de 1RM respecto a BFR de alta presión (60-80% AOP) y 30% de 1RM Dolor similar entre BFR baja presión (40-50% AOP y 30% de 1RM) y RE-HI (80% de 1RM)
	Calatayud J <i>et al.</i> , 2023 ¹⁹	No hay alteración en la intensidad del dolor con RE LI-BFR (20% - 40% AOP)
	Mahmoud WS <i>et al.</i> , 2021 ²¹	Disminución del dolor con RE LI-BFR (30% de 1RM y 70% AOP) respecto RE LI-BFR (10% de 1RM y 70% AOP) y RE LI-BFR (10% y 30% de 1RM y 50% AOP)
	Lixandrão M.E <i>et al.</i> , 2018 ²³	Menor percepción del dolor en RE-LI BFR (50% AOP) respecto RE-HI y RE-LI
Tamaño muscular	Hill EC <i>et al.</i> , 2021 ¹¹	Aumento del tamaño muscular con RE LI-BFR (30% del torque máximo y un 40% AOP)
	Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	Aumento de la hipertrofia muscular con RE LI-BFR (80% de la AOP) respecto RE LI-BFR (40% AOP) y RE-LI
	Lopes KG <i>et al.</i> , 2022 ¹²	Aumento de la masa muscular con RE LI-BFR (30% de 1 RM y 50% rAOP) respecto a RE-HI (70% de 1RM) y RE-LI
	Hill EC <i>et al.</i> , 2020 ¹³	No diferencias en tamaño muscular en RE LI-BFR (30% del torque máximo y 40% AOP) respecto a RE-LI
	Ladlow P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	Aumento de la hipertrofia muscular en EEII con RE LI-BFR (30% de 1RM y 60% AOP) respecto RE-HI (70% de 1RM)
	Mahmoud WS <i>et al.</i> , 2021 ²¹	Aumento CSA cuádriceps con RE LI-BFR (30 % de 1RM y 70% de AOP) respecto RE LI-BFR (10% de 1RM y 70% AOP) y RE LI-BFR (10% y 30% de 1RM y 50% AOP)
	Lambert B <i>et al.</i> , 2021 ²²	Aumento masa muscular de ES con RE LI-BFR (20% deRM y 50% de AOP) respecto a RE-LI
Esfuerzo percibido	Soligon SD <i>et al.</i> , 2018 ¹⁶	Disminución RPE con BFR de baja presión (40-50% AOP) respecto a BFR de alta presión (60-80% AOP) Disminución RPE entre BFR de baja presión y RE-HI
	Calatayud J <i>et al.</i> , 2023 ¹⁹	Aumento de RPE con la carga y la presión del manguito
	Lixandrão M.E <i>et al.</i> , 2018 ²³	Menor RPE en RE LI-BFR respecto RE-HI y RE-LI.

ABREVIATURAS: BFR (Restricción del Flujo sanguíneo), RE (Ejercicio de Resistencia), HI (High Intensity), LI (Low Intensity), AOP (Presión de Oclusión Arterial), tBFR (BFR tradicional), pBFR (BFR práctico), EEII (Extremidades Inferiores), AR (Recuperación Activa), PR (Recuperación Pasiva), CSA (Área de Sección Transversal), RM (repetición máxima), RPE (esfuerzo percibido)

A continuación, se presenta el resumen de los resultados obtenidos en cada estudio analizado.

Respecto a la fuerza muscular se presentan diez artículos que evalúan este parámetro. En Curran MT *et al.*, 2020⁹, con el objetivo de la recuperación funcional del cuádriceps después de una ACLR, se empleó un entrenamiento de resistencia de alta intensidad con BFR con un 70% de 1RM y un 80% de AOP y demostró que no había una mejora significativa de la fuerza del cuádriceps respecto a la aplicación del entrenamiento de resistencia de alta intensidad sin BFR. Por otra parte, Park HS *et al.*, 2022¹⁰, para la recuperación de una Osteotomía proximal de tibia, corroboró que utilizando un entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR y la misma presión de oclusión que Curran MT *et al.*, 2020⁹, se obtenía un aumento de la fuerza muscular respecto a un entrenamiento de resistencia de baja intensidad.

En el artículo de Lopes KG *et al.*, 2022¹², se indicó un aumento de la fuerza muscular con el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR al 30% de 1RM respecto a un entrenamiento de resistencia de alta intensidad (al 70% de 1RM) y al grupo control. Empleando la misma intensidad de entrenamiento, Letieri RV *et al.*, 2018¹⁵ probó que había una equivalencia en el aumento de la fuerza muscular utilizando un entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR en comparación con un entrenamiento de resistencia de alta intensidad. Estos resultados se obtuvieron especialmente aplicando las presiones de oclusión más altas. De la misma manera Lambert B *et al.*, 2021²², utilizando un 50% AOP durante los periodos de entrenamiento de resistencia de baja intensidad (20% de 1RM), muestra en los resultados un aumento de la fuerza muscular respecto a un entrenamiento de resistencia de baja intensidad sin BFR.

En Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸ y Fekri-Kourabbaslou V *et al.*, 2022²⁰, aplicaron la misma intensidad de entrenamiento de resistencia (30% de 1 RM) y la misma presión de oclusión (60% AOP). Sin embargo, Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸ demuestra que en un entorno de rehabilitación con MDT para pacientes hospitalizados se obtiene una mejora significativa de la fuerza respecto a un entrenamiento de resistencia convencional de alta intensidad, mientras que Fekri-Kourabbaslou V *et al.*, 2022²⁰, demuestra que hay una mejora notable de la fuerza aplicando una recuperación activa respecto a una recuperación pasiva durante el entrenamiento con BFR. Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹ obtuvo un impacto positivo en la fuerza muscular aplicando

la misma intensidad de entrenamiento de resistencia que Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸ y Fekri-Kourabbaslou V *et al.*, 2022²⁰ pero con un 70% de AOP en pacientes con PwKOA.

En un ensayo de Hill EC *et al.*, 2020¹³, se empleó un entrenamiento de resistencia con un 30% del torque máximo y un 40% de AOP, produciendo así aumentos en la fuerza concéntrica en comparación con el entrenamiento de resistencia de baja intensidad sin BFR, sin embargo, no hubo diferencias significativas en la fuerza isométrica. Un año más tarde, este mismo autor Hill EC *et al.*, 2021¹¹, realiza un estudio en el cual emplea el mismo torque máximo y el mismo AOP, pero comparándolo únicamente con un grupo control que no realiza ningún entrenamiento, concluyendo con un aumento de la fuerza isométrica y de la fuerza concéntrica.

Hay cuatro artículos que hablan sobre la actividad muscular, donde uno de ellos, Curran MT *et al.*, 2020⁹ refleja en su estudio que no hay variación en la activación muscular comparando el entrenamiento de resistencia de alta intensidad con BFR (70% 1RM y 80% de AOP) con el entrenamiento de resistencia de alta intensidad. Por otro lado, Fatela P *et al.*, 2018¹⁴, utilizando la misma presión de oclusión, pero aplicando un entrenamiento de resistencia de baja intensidad (20% de 1RM), obtuvo un aumento de la activación muscular respecto al entrenamiento de resistencia de baja intensidad. Calatayud J *et al.*, 2023¹⁹, también realiza su estudio con entrenamiento de resistencia de baja intensidad igual que Fatela P *et al.*, 2018¹⁴, pero con una presión de oclusión menor (40% AOP), sin obtener una variación en la activación muscular en comparación con el entrenamiento de resistencia de baja intensidad sin BFR.

Freitas EDS *et al.*, 2020¹⁷, demuestra en su estudio que los hombres obtienen una mayor respuesta en la activación muscular respecto a las mujeres utilizando un entrenamiento de resistencia de alta intensidad (80% de 1RM) sin BFR, en comparación con los grupos que realizan el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR tradicional y BFR práctico

En cuanto a la atrofia muscular, Curran MT *et al.*, 2020⁹, expone que aplicando un entrenamiento de resistencia de alta intensidad (70% de 1RM y 80% AOP) no se obtiene una disminución de la atrofia muscular respecto al entrenamiento de resistencia de alta intensidad. Park HS *et al.*, 2022¹⁰, por otro lado, dice que la realización del entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR y utilizando la misma presión de oclusión que Curran MT *et al.*, 2020⁹, si se consigue prevenir la atrofia muscular.

En términos de función muscular, tanto Park HS *et al.*, 2022¹⁰ como Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸, utilizan un entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR de alta presión (80% y 60% de AOP, respectivamente), obteniendo así, una mejoría de la función muscular.

Con relación al dolor, Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶, habla sobre la disminución de este al aplicar el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR de baja presión (40-50% AOP) respecto al de alta presión (60-80% AOP), aunque el dolor es similar cuando compara el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR de baja presión con el entrenamiento de resistencia de alta intensidad. En cambio, Park HS *et al.*, 2022¹⁰ y Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹, utilizando un BFR de alta presión en el entrenamiento de resistencia de baja intensidad, observaron una posible contribución a la reducción del dolor y una disminución del dolor, respectivamente.

Al igual que en el artículo Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶, en el de Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³, se realiza una comparación entre el entrenamiento de resistencia con BFR (de baja intensidad) y una AOP del 50%, respecto a entrenamiento de resistencia sin BFR. Aun así, se muestran diferencias en sus resultados, ya que en este último se observa una menor percepción del dolor, a diferencia de Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶. Por lo contrario, el ensayo de Calatayud J *et al.*, 2023¹⁹, no hubo alteración de la percepción del dolor con la aplicación de entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR (20-40%AOP).

Hay seis artículos que hablan sobre un aumento del tamaño muscular en unas condiciones de entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR. Entre estos se encuentra Lopes KG *et al.*, 2022¹², donde el aumento del tamaño muscular aparece utilizando el BFR a un 50% de presión de oclusión, en comparación con el entrenamiento de resistencia de baja y alta intensidad convencional. Utilizando la misma presión de oclusión y comparándolo con el entrenamiento de baja intensidad, en el estudio de Lambert B *et al.*, 2021²² se obtuvo un aumento de la masa muscular. Utilizando el BFR a altas presiones y con 30% de 1RM se obtuvieron los mismos resultados (Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸, Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹). Así mismo, Park HS *et al.*, 2022¹⁰, con un 80% de AOP, obtuvo un aumento significativo de la hipertrofia muscular respecto a una aplicación del 40% de AOP y del entrenamiento de resistencia sin BFR.

En el último artículo de estos seis, Hill EC *et al.*, 2020¹³, no se obtuvo diferencias en el tamaño muscular comparándolo con el entrenamiento de resistencia de baja intensidad. Un año más tarde el mismo autor (Hill EC *et al.*, 2021¹¹), emplea el mismo torque máximo y la misma AOP,

pero comparándolo únicamente con un grupo control que no realiza ningún entrenamiento, concluyendo esta vez sí, en un aumento del tamaño muscular.

Finalmente, sobre el esfuerzo percibido, autores como Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶ y Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³, hablan sobre la disminución del RPE utilizando entrenamiento de resistencia de baja intensidad. Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶, compara el BFR de baja presión con el de alta presión y el BFR de baja presión con el entrenamiento de resistencia de alta intensidad convencional, resultando ambas comparaciones con la disminución del esfuerzo percibido. Por otra parte, Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³, compara el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR respecto al entrenamiento de resistencia de alta y baja intensidad convencional, observando también una disminución del esfuerzo percibido.

Se ha estudiado también que a medida que se aumenta la carga del ejercicio y la presión de oclusión del manguito, el esfuerzo percibido aumenta (Calatayud J *et al.*, 2023¹⁹).

5. DISCUSIÓN

La Restricción del Flujo Sanguíneo (BFR) ha emergido como una estrategia innovadora que puede considerarse una alternativa al ejercicio tradicional y ofrecer beneficios equivalentes a este utilizando cargas bajas. Esta revisión sistemática tuvo el objetivo de analizar la literatura reciente para poder observar los efectos que tiene la intensidad de entrenamiento y la presión de oclusión en la BFR aplicada en el entrenamiento de resistencia. Para ello, se incluyeron 15 ensayos clínicos y ensayos controlados aleatorizados, que fueron seleccionados según los criterios predefinidos. La mayoría de estos ensayos presentan un riesgo de sesgo bajo, lo que nos fortalece la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los estudios analizados muestran una amplia diversidad en las intervenciones utilizadas, los efectos producidos y en las patologías consideradas dentro de la muestra. Por esta razón, la discusión de los resultados se centra en los factores moderadores de los efectos de la BFR y en la comparación de dichos efectos con y sin la aplicación de BFR.

5.1 Factores moderadores de los efectos de la BFR

5.1.1 Intensidad

En estudios anteriores a los analizados en esta revisión, se ha observado que el ejercicio de resistencia con bajas cargas junto con la aplicación de restricción del flujo sanguíneo (BFR) es una herramienta segura y eficaz²⁴ y que por lo tanto puede ser un método potencialmente útil en aquella población con poca tolerancia a cargas elevadas, como por ejemplo en ancianos, ya que puede llegar a inducir altos beneficios con niveles mínimos de intensidad del ejercicio²⁵. Además, esta modalidad de entrenamiento podría reducir las fuerzas de **tracción en los ligamentos y las articulaciones** en comparación con el entrenamiento de resistencia de mayor intensidad, disminuyendo la incidencia de lesiones y al mismo tiempo promoviendo el incremento de la fuerza muscular^{26,27}.

Una gran parte de los artículos analizados en esta revisión, reflejan que el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR puede llegar a inducir los mismos beneficios que un entrenamiento de resistencia de alta intensidad. Demostraron que esta modalidad es una forma segura y eficaz de mejorar la función, la morfología y la respuesta de fuerza en el tejido muscular, sin aportar una sobrecarga sobre la articulación. Estos resultados podrían ser particularmente relevantes en el ámbito de la rehabilitación, dado que su uso no exige cargas mecánicas elevadas, lo que posibilita su aplicación en personas que no puedan realizar un entrenamiento de resistencia convencional (Park HS *et al.*, 2022¹⁰, Lopes KG *et al.*, 2022¹², Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸, Fekri-Kourabbaslou V *et al.*, 2022²⁰, Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³, Letieri RV *et al.*, 2018¹⁵).

En base a estos resultados, los cuales mencionan el potencial del uso del BFR con baja intensidad, se ha investigado si la combinación de la BFR con entrenamiento de resistencia de alta intensidad podría magnificar todavía más los resultados. Sin embargo, se ha demostrado que no hubo mejoras significativas respecto al entrenamiento convencional de alta intensidad, ya que el uso del BFR con esta modalidad de entrenamiento no tiene beneficios añadidos (Curran MT *et al.*, 2020⁹). Por lo tanto, la verdadera utilidad de la BFR está en su aplicación con un entrenamiento de resistencia de baja intensidad.

5.1.2 Presión de oclusión

Según investigaciones previas se ha sugerido que los protocolos de ejercicio que utilizan una presión de oclusión mayor pueden aumentar la respuesta anabólica al ejercicio²⁸⁻³⁰. La alta presión de oclusión puede inducir un mayor estrés metabólico lo que conlleva a la fatiga muscular, cosa que se asocia con un mayor reclutamiento de unidades motoras para preservar la generación de fuerza, especialmente las de contracción rápida²⁹⁻³². Esto podría explicar los resultados de Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹ donde en el grupo que utilizaban un BFR al 70% de AOP tuvieron una probabilidad mayor de reclutamiento de unidades motoras respecto a otro grupo que realizaba BFR al 50% de AOP. Este mismo autor, también afirma que el mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida para preservar la generación de fuerza resulta en hipertrofia muscular.

Algunos de los artículos de nuestra revisión, refuerzan esta misma idea, en la cual cuanto más alta es la AOP, más favorables son los resultados del estudio. Estos hablan de mejores resultados en términos de hipertrofia muscular y CSA, prevención de la atrofia muscular y aumento de la fuerza y de la función (Park HS *et al.*, 2022¹⁰, Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹, Letieri RV *et al.*, 2018¹⁵).

En cambio, tres de los autores analizados, tienen una visión diferente, sobre todo en términos de dolor y de esfuerzo percibido (RPE). Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶ defiende que con protocolos de BFR con menor presión resultan en niveles de RPE y de dolor más bajos en comparación con el BFR de alta presión. Comparando las diferentes presiones de oclusión con el ejercicio de resistencia de alta intensidad, con una AOP menor se obtuvo un menor RPE y con una AOP mayor un RPE similar al ejercicio de resistencia de alta intensidad. En términos de dolor, con una AOP menor, se mostraban niveles de dolor similares al entrenamiento de alta intensidad, y con una AOP mayor se mostraban niveles de dolor superiores a este. Por lo tanto, demuestra que la aplicación del BFR con unas presiones de oclusión menores produce una mejor tolerancia por parte del paciente. Esto, lo relaciona, en contraposición de los demás autores mencionados, con que los protocolos de BFR de baja presión pueden ser lo que se necesita para promover aumentos en la masa muscular. Los otros dos estudios refuerzan la misma idea sobre el dolor y el RPE. El dolor, a consecuencia de una mayor presión, puede ser indistinguible por los individuos si proviene a nivel muscular o de la misma presión del manguito, ya que la fuerza de compresión ejercida por el manguito puede aumentar el malestar durante el ejercicio (Calatayud J *et al.*, 2023¹⁹, Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³).

También hemos observado cómo pueden influir el ancho del manguito y los diferentes tipos de manguito en las respuestas al tratamiento con la BFR. Se ha comprobado que cuanto mayor es el ancho del manguito, menor es la presión que se necesita para aplicar la misma restricción del flujo sanguíneo, lo que se puede asociar con valores de RPE más altos respecto a la utilización de manguitos más estrechos (Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶). Existen manguitos que permiten controlar con precisión la presión de oclusión aplicada durante el ejercicio, como los dispositivos electrónicos KAATSU o Hokanson, que lo utilizaron en su estudio Hill EC *et al.*, 2021¹¹, Hill EC *et al.*, 2020¹³ y Freitas EDS *et al.*, 2020¹⁷. Además, encontramos los manguitos neumáticos estándar que, sin ser electrónicos, también pueden regular la AOP y los utilizaron Fatela P *et al.*, 2018¹⁴, Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³ y Lopes KG *et al.*, 2022¹². Por otro lado, también existe el uso de bandas elásticas, como hicieron Freitas EDS *et al.*, 2020¹⁷ y Curran MT *et al.*, 2020⁹, las cuales se envuelven alrededor de las extremidades para producir una cierta presión de oclusión, aunque no se puede determinar con tanta precisión el porcentaje de AOP utilizado durante el ejercicio (Freitas EDS *et al.*, 2020¹⁷).

En cuanto a la localización del manguito, se coloca en la parte proximal de la extremidad que interesa trabajar. En los artículos analizados en nuestra revisión se colocaba tanto en extremidades superiores como inferiores, ya que no nos hemos centrado en ninguna patología en concreto (Curran MT *et al.*, 2020⁹, Hill EC *et al.*, 2021¹¹, Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸, Fatela P *et al.*, 2018¹⁴).

De esta manera, podríamos decir que la presión de oclusión elevada produce más respuestas fisiológicas significativas que una presión de oclusión más baja, sin embargo, puede llegar a ser peor tolerada por los pacientes a causa del elevado esfuerzo percibido y del dolor que pueda llegar a producir dicha presión. Además, el ancho del manguito y su tipología, también pueden influir en la aplicación de esta técnica.

5.2 Efectos del entrenamiento de resistencia con y sin BFR

Otros autores reflejan en sus estudios que los aumentos iniciales en la fuerza muscular se atribuyen principalmente a adaptaciones neuronales durante las primeras semanas de entrenamiento de resistencia. Sin embargo, la hipertrofia muscular pasa a convertirse en el principal contribuyente a mayores aumentos en la fuerza muscular después de aproximadamente 4 semanas de entrenamiento de resistencia³³.

Esta idea se ve respaldada por el estudio de Park HS *et al.*, 2022¹⁰ donde refleja que generalmente el ejercicio de resistencia lleva a la hipertrofia muscular después de un

incremento en la fuerza. Pero, por otro lado, afirma que el incremento de fuerza sigue a la hipertrofia cuando se aplica ejercicio de baja intensidad combinado con BFR.

Este hallazgo sugiere que la combinación de BFR con ejercicios de baja intensidad puede potenciar la hipertrofia muscular, lo que a su vez contribuye al aumento adicional en la fuerza muscular. Además, se obtienen mejoras en la fuerza muscular y en la hipertrofia tanto en BFR de presión de oclusión baja, (Hill EC *et al.*, 2021¹¹, Lambert B *et al.*, 2021²², Lopes KG *et al.*, 2022¹², Hill EC *et al.*, 2020¹³) como en BFR de presión de oclusión elevada (Curran MT *et al.*, 2020⁹, Park HS *et al.*, 2022¹⁰, Letieri RV *et al.*, 2018¹⁵, Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸, Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹, Fekri-Kourabbaslou V *et al.*, 2022²⁰). Por otro lado, Curran MT *et al.*, 2020⁹, confirma que la aplicación de ejercicio de resistencia de alta intensidad con BFR no contribuye a la mejoría de la fuerza muscular respecto a los beneficios obtenidos en un entrenamiento de alta intensidad convencional.

Destacamos que la hipertrofia muscular depende de una combinación óptima de cargas y volumen de entrenamiento elevado. De esta manera, en pacientes que no pueden asumir estos requisitos, la aplicación de la BFR puede ser beneficiosa en este aspecto al aplicarla en un entrenamiento de resistencia relativamente corto realizado con cargas de trabajo ligeras (Lopes KG *et al.*, 2022¹²).

Con los resultados obtenidos sobre la atrofia muscular, podemos concluir que realizar entrenamiento de resistencia con BFR de baja intensidad ayuda a prevenir la atrofia muscular, mientras que si lo utilizamos con altas intensidades no se previene la atrofia. No debe pasar desapercibido, que solo dos de los artículos hacen referencia a la atrofia muscular.

En el estudio de Hill EC *et al.*, 2020¹³ se sugiere que el entrenamiento con BFR produjo cambios en la activación muscular medida a través de EMG y MMG. Se observaron aumentos simultáneos en la frecuencia de potencia media de EMG y MMG, lo que podría reflejar un aumento en la tasa de activación de unidades motoras y aumentos en la amplitud de MMG, que darían a entender posibles aumentos en el tamaño del músculo. Sin embargo, estos cambios no explicaron mayores aumentos en la fuerza concéntrica, sugiriendo la implicación de otros mecanismos en la mejora de la fuerza muscular que no se reflejan en los cambios medidos por EMG y MMG.

Varios de los autores estudiados en esta revisión (Curran MT *et al.*, 2020⁹ y Calatayud J *et al.*, 2023¹⁹) no mostraron variaciones en la actividad muscular, sin embargo, la comparación entre ellos se ve dificultada debido a la utilización de diferentes intensidades de entrenamiento con BFR y distintas presiones de oclusión. Fatela P *et al.*, 2018¹⁴, demostró un aumento de la activación muscular utilizando un entrenamiento de resistencia de baja intensidad combinado

con BFR con altas presiones de oclusión. De esta manera, estos resultados no son concluyentes en nuestro estudio, debido a la escasa cantidad de artículos que abordan este tema y su dificultad para compararlos. Por ende, se necesitan más investigaciones para obtener resultados más concluyentes.

Por otro lado, en cuanto a la función muscular, se establece que hubo mejoras en la función muscular aplicando el entrenamiento de resistencia de baja intensidad combinado con BFR a altas presiones de oclusión respecto a las bajas presiones de oclusión y al entrenamiento de resistencia de alta intensidad. Aun así, tampoco podemos llegar a una conclusión general, ya que solamente Park HS *et al.*, 2022¹⁰ y Ladlow P *et al.*, 2018¹⁸ hacen referencia a este término. En los artículos no se especifica si los términos de función y actividad musculares son equiparables entre sí.

La mayoría de los artículos que mencionan el dolor, refieren que el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR, aporta una disminución de este. Es importante considerar que esta percepción del dolor puede variar según la metodología del estudio, ya que algunos de ellos han utilizado altas presiones (Park *et al.*, 2022¹⁰, Mahmoud WS *et al.*, 2021²¹), otros, bajas presiones (Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³), y los hay que aseguran que el dolor aplicando BFR con presiones de oclusión bajas es menor que con presiones de oclusión altas (Soligon *et al.*, 2018¹⁶). Calatayud *et al.*, 2023¹⁹ por otra parte, no refiere cambios en la percepción del dolor en ninguno de los grupos estudiados.

Para finalizar esta discusión, según argumentan Soligon SD *et al.*, 2018¹⁶ y Calatayud *et al.*, 2023¹⁹, cuanto mayor es la presión de oclusión mayor es el aumento del esfuerzo percibido. Comparando el entrenamiento de resistencia de baja intensidad con BFR respecto a un entrenamiento de resistencia de baja intensidad sin BFR y con un entrenamiento de alta intensidad, se notificó un menor esfuerzo percibido (Lixandrão M.E *et al.*, 2018²³). Por lo tanto, el entrenamiento con BFR respecto a los entrenamientos convencionales reduce el esfuerzo percibido y, si lo comparamos entre altas y bajas presiones, el de bajas presiones será el que producirá menos esfuerzo percibido.

5.3 Limitaciones

Esta revisión cuenta con una serie de limitaciones que han dificultado su realización. Para comenzar, disponíamos de un número reducido de artículos que incluyeran nuestros criterios de inclusión y aquellos que sí lo hacían, utilizaban diseños de estudio muy distintos entre ellos. La gran mayoría de los estudios utilizan muestras muy reducidas y la población analizada es muy heterogénea, ya que no se define una patología o población específica para esta revisión. Además, la corta duración que presentan los estudios y, por ende, el periodo de seguimiento

de la población estudiada, limita el margen de aparición de cambios que se puedan producir a largo plazo.

La comparación de los estudios analizados nos ha supuesto un verdadero obstáculo, debido a que cada estudio utiliza un tiempo y un tipo distinto de ejercicio dentro del entrenamiento de resistencia. Asimismo, utilizan diferentes intensidades de entrenamiento, presiones de oclusión, tiempo de oclusión y diferentes manguitos que, por lo tanto, dificultan la posibilidad de contrastar la información.

5.4 Líneas futuras

Una vez realizada esta revisión sistemática, se sugiere que los futuros estudios sobre la BFR deberían contemplar una muestra más amplia para garantizar resultados significativos y la generalización de estos en la población. También, consideramos que se deberían incrementar los estudios que establezcan claramente los parámetros de aplicación de la BFR, incluyendo como mínimo el porcentaje de presión de oclusión y de intensidad del ejercicio, así como la modalidad de entrenamiento que se va a estudiar. Además, se necesita seguir obteniendo evidencia clínica que sea de alta calidad para respaldar el avance de esta novedosa técnica de tratamiento.

6. CONCLUSIONES

La BFR se trata de una técnica innovadora que nos permite obtener resultados equivalentes a los entrenamientos tradicionales, pero utilizando cargas menores, cosa que la hacen una herramienta segura, eficaz y útil para aquella población con poca tolerancia a niveles de intensidad elevados o situaciones clínicas que lo desaconsejen.

Dentro de esta revisión, se confirma que tanto la intensidad del ejercicio y la presión de oclusión son claros moderadores de los efectos de la BFR. Concluimos que la manera óptima de aplicar la BFR, es en combinación con un entrenamiento de resistencia de baja intensidad y con una presión de oclusión elevada para una mayor obtención de beneficios. Sin embargo, cabe destacar que las altas presiones de oclusión generan peor tolerancia por el paciente respecto a su utilización con bajas presiones en la realización del ejercicio.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol.* 2019 May 15:10:533
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):937-944
3. Cognetti DJ, Sheean AJ, Owens JG. Blood Flow Restriction Therapy and Its Use for Rehabilitation and Return to Sport: Physiology, Application, and Guidelines for Implementation. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2022 Jan 28;4(1):e71-e76
4. Lambert B, Hedt C, Daum J, Taft C, Chaliki K, Epner E, et al. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. *Am J Sports Med.* 2021 Aug;49(10):2716-2728.
5. Freitas EDS, Karabulut M, Bembem MG. The Evolution of Blood Flow Restricted Exercise. *Front Physiol.* 2021 Dec 2:12:747759
6. Bordessa JM, Hearn MC, Reinfeldt AE, Smith TA, Baweja HS, Levy SS, et al. Comparison of blood flow restriction devices and their effect on quadriceps muscle activation. *Phys Ther Sport.* 2021 May;49:90-97.
7. Hutton B, Catalá-López F, Moher D. The PRISMA statement extension for systematic reviews incorporating network meta-analysis: PRISMA-NMA. *Med Clin (Barc).* 2016; 147(6):262-6.
8. Centro Cochrane Iberoamericano, traductores. Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones, versión 5.1.0 [actualizada en marzo de 2011] [Internet]. Barcelona: Centro Cochrane Iberoamericano; 2012 [citado 13 febrero 2024]. Disponible en: <http://www.cochrane.es/?q=es/node/269>
9. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 20 Mar;48(4):825-837.
10. 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 (Baltimore).* 2022 Dec 23;101(51):e32294.
11. Hill EC, Housh TJ, Keller JL, Smith CM, Anders JV, Schmidt RJ, Johnson GO, Cramer JT. Patterns of responses and time-course of changes in muscle size and strength during low-load blood flow restriction resistance training in women. *Eur J Appl Physiol.* 2021 May;121(5):1473-1485.
12. Lopes KG, Farinatti P, Bottino DA, de Souza MDGC, Maranhão P, Bouskela E, Lourenço RA, de Oliveira RB. Exercise with blood flow restriction improves muscle strength and mass while preserving the vascular and microvascular function and structure of older adults. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2022;82(1):13-26.

13. Hill EC, Housh TJ, Keller JL, Smith CM, Anders JV, Schmidt RJ, Johnson GO, Cramer JT. Low-load blood flow restriction elicits greater concentric strength than non-blood flow restriction resistance training but similar isometric strength and muscle size. *Eur J Appl Physiol.* 2020 Feb;120(2):425-441.
14. Fatela P, Reis JF, Mendonca GV, Freitas T, Valamatos MJ, Avela J, Mil-Homens P. Acute Neuromuscular Adaptations in Response to Low-Intensity Blood-Flow Restricted Exercise and High-Intensity Resistance Exercise: Are There Any Differences? *J Strength Cond Res.* 2018 Apr;32(4):902-910.
15. Letieri RV, Teixeira AM, Furtado GE, Lamboglia CG, Rees JL, Gomes BB. Effect of 16 weeks of resistance exercise and detraining comparing two methods of blood flow restriction in muscle strength of healthy older women: A randomized controlled trial. *Exp Gerontol.* 2018 Dec;114:78-86.
16. Soligon SD, Lixandrão ME, Biazon T, Angleri V, Roschel H, Libardi CA. Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized. *Physiol Int.* 2018 Sep 1;105(3):276-284.
17. Freitas EDS, Galletti BRA, Koziol KJ, Miller RM, Heishman AD, Black CD, Bembem D, Bembem MG. The Acute Physiological Responses to Traditional vs. Practical Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Untrained Men and Women. *Front Physiol.* 2020 Sep 29;11:577224.
18. Ladlow P, Coppack RJ, Dharm-Datta S, Conway D, Sellon E, Patterson SD, Bennett AN. Low-Load Resistance Training With Blood Flow Restriction Improves Clinical Outcomes in Musculoskeletal Rehabilitation: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *Front Physiol.* 2018 Sep 10;9:1269.
19. Calatayud J, OGREZEANU DC, Carrasco JJ, Martinez-Valdes E, Pérez-Alenda S, Cruz-Montecinos C, Andersen LL, Aagaard P, Suso-Martí L, Casaña J. Safety, feasibility, and neuromuscular activity of acute low-load resistance exercise with or without blood flow restriction in patients with severe hemophilia. *Eur J Haematol.* 2023 Jul;111(1):47-56.
20. Fekri-Kourabbaslou V, Shams S, Amani-Shalamzari S. Effect of different recovery modes during resistance training with blood flow restriction on hormonal levels and performance in young men: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022 Mar 25;14(1):47.
21. Mahmoud WS, Osailan A, Ahmed AS, Elnaggar RK, Radwan NL. Optimal Parameters of Blood Flow Restriction and Resistance Training on Quadriceps Strength and Cross-sectional Area and Pain in Knee Osteoarthritis. *Isokinetics and Exercise Science* 2021 Jan 1;29(4):393-402
22. Lambert B, Hedt C, Daum J, Taft C, Chaliki K, Epner E, McCulloch P. Blood Flow Restriction Training for the Shoulder: A Case for Proximal Benefit. *Am J Sports Med.* 2021 Aug;49(10):2716-2728.
23. Lixandrão ME, Roschel H, Ugrinowitsch C, Miquelini M, Alvarez IF, Libardi CA. Blood-Flow Restriction Resistance Exercise Promotes Lower Pain and Ratings of Perceived Exertion Compared With Either High- or Low-Intensity Resistance Exercise Performed to Muscular Failure. *J Sport Rehabil.* 2019 Sep 1;28(7):706-710.

24. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bemben MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports*. 2011 Aug;21(4):510-8.
25. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* (1985). 2006 May;100(5):1460-6.
26. Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T, Fukunaga T. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998;77(1-2):189-91.
27. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2002 Feb;86(4):308-14.
28. Abe T, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Bemben MG. Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2012 Jul;32(4):247-52.
29. Loenneke JP, Kim D, Fahs CA, Thiebaud RS, Abe T, Larson RD, Bemben DA, Bemben MG. Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle Nerve*. 2015 May;51(5):713-21.
30. Sugaya M, Yasuda T, Suga T, Okita K, Abe T. Change in intramuscular inorganic phosphate during multiple sets of blood flow-restricted low-intensity exercise. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2011 Sep;31(5):411-3.
31. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. *J Sports Sci Med*. 2008 Dec 1;7(4):467-74.
32. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, Tricoli V, Roschel H. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol*. 2015 Dec;115(12):2471-80.
33. Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*. 1979 Jun;58(3):115-30.

ANEXO

Anexo 1. Otros parámetros analizados en los diferentes estudios

Curran MT <i>et al.</i> , 2020 ⁹	Recuperación funcional del cuádriceps en ACLR
Park HS <i>et al.</i> , 2022 ¹⁰	Recuperación articular en OTA
Hill EC <i>et al.</i> , 2021 ¹¹	Edema muscular
Lopes KG <i>et al.</i> , 2022 ¹²	Función vascular, estrés oxidativo y biomarcadores inflamatorios
Hill EC <i>et al.</i> , 2020 ¹³	Adaptaciones neuronales
Fatela P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁴	Fatiga neuromuscular
Freitas EDS <i>et al.</i> , 2020 ¹⁷	Actividad mioeléctrica, inflamación muscular, respuesta metabólica, actividad enzimática
Ladlow P <i>et al.</i> , 2018 ¹⁸	Eficacia y viabilidad del BFR en pacientes hospitalizados sometidos a MDT
Calatayud J <i>et al.</i> , 2023 ¹⁹	Seguridad y viabilidad del BFR en PwH
Fekri-Kourabbaslou V <i>et al.</i> , 2022 ²⁰	Efecto en los niveles hormonales
Lambert B <i>et al.</i> , 2021 ²²	Amplitud EMG agudo

ABREVIATURAS: ACLR (Reconstrucción del ligamento cruzado anterior), OTA (Osteotomía Tibial Alta), BFR (Restricción del flujo sanguíneo), MDT (equipo multidisciplinario), PwH (People with Hemophilia).