



**Universidad de la Frontera
Magíster en Terapia Física
con Mención en
Rehabilitación
Musculoesquelética**

“Influencia de diferentes presiones de oclusión utilizadas durante el entrenamiento de resistencia con restricción de flujo sanguíneo sobre fuerza y masa muscular en extremidad inferior en adultos: una revisión de la literatura”

Estudiante:

Klgo. Francisco Poblete Barrientos

Profesor guía:

Prof. Dr. Omar Andrade Mayorga

Temuco, Julio de 2026

AGRADECIMIENTOS

A mi Familia:

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, que siempre me apoyó e incentivó a ser mejor cada día, para ser un mejor profesional, pero por sobre todo, una mejor persona. Me enseñaron el valor de trabajar duro, de luchar por lo que quiero y de no conformarme con poco.

A mi Madre:

Quiero agradecer a mi madre por incentivarme a tomar este programa, por su apoyo incluso a pesar de la distancia y, por sobre todas las cosas, por demostrarme que con vocación, amor, ganas y sabiduría las oportunidades llegan, y que la verdadera recompensa es la tranquilidad y la familia. Gracias por creer y siempre querer lo mejor para mi y para mi futuro.

A mi Profesor:

Quiero agradecer a mi profesor Dr. Omar Andrade Mayorga por su compromiso durante todo el proceso, por entregarme las herramientas para llevar adelante este proyecto de grado y por confiar siempre en mis capacidades, incluso en los momentos más difíciles.

A Carla Alonso mi compañera de vida:

Por último, quiero dedicar este trabajo, y sobre todo estas palabras, a Carla Alejandra Alonso Hidalgo. Me apoyó desde el primer día en la decisión de ingresar al Magíster, me enseñó a no rendirme y estuvo presente en los momentos más difíciles, cuando no se veía una luz clara al final del camino.

Me mostró el sendero correcto para seguir adelante, caminando siempre a mi lado, alentándome, sosteniéndome y empujándome a cumplir mis sueños y metas. Gracias por acompañarme en cada logro, en cada caída y en cada momento importante de este proceso.

Este logro es de ambos. Por tu paciencia, tu motivación, tu ímpetu y por ser esa energía diaria que necesitaba para seguir avanzando sin dar el brazo a torcer. Gracias por tu compañía constante y por estar siempre, incluso cuando no era fácil.

Gracias por ser mi fortaleza y mi fuente de inspiración para querer ser mejor cada día y seguir creciendo juntos. Este logro no es solo mío, es de todos mis seres queridos, pero sobre todo, también es tuyo.

1. RESUMEN:

Antecedentes: El entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (BFR, del inglés *blood flow restriction*) es una técnica que mejora la fuerza y masa muscular mediante el uso de torniquetes neumáticos. Se ha mostrado beneficioso en diferentes poblaciones, incluyendo pacientes en rehabilitación. Sin embargo, la variabilidad en los niveles de presión utilizados y la falta de consenso sobre la presión óptima generan incertidumbre sobre su efectividad y seguridad.

Objetivo: Determinar qué se conoce en la literatura sobre el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo para el aumento de fuerza y masa muscular, en función de la presión utilizada en el manguito.

Metodología: Se realizó una revisión de la literatura bajo el enfoque de *Scoping Review*, siguiendo las directrices del protocolo PRISMA-ScR. La búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos PubMed y *Web of Science* durante el mes de noviembre de 2025, utilizando términos MeSH y términos libres relacionados con BFR, presión del manguito, fuerza muscular e hipertrofia muscular. Posteriormente, se sometieron a análisis de riesgo de sesgo y para los ensayos experimentales incluidos se estimó la magnitud del efecto sobre la fuerza muscular mediante la **d de Cohen**, mientras que los resultados de masa muscular fueron analizados de forma descriptiva debido a la heterogeneidad de los métodos de medición.

Resultados: Se incluyeron cuatro estudios para el análisis final, correspondientes a dos ensayos clínicos aleatorizados y dos estudios prospectivos no aleatorizados, que evaluaron los efectos del entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado a restricción de flujo sanguíneo en distintas poblaciones, incluyendo adultos jóvenes no entrenados, personas mayores y pacientes con atrofia muscular postoperatoria. En total, los estudios consideraron a 102 participantes adultos de ambos sexos. En relación con la fuerza muscular en extensión de rodilla, tres estudios reportaron incrementos significativos tras intervenciones con BFR con RT, con duraciones entre 8 y 12 semanas. El análisis del tamaño del efecto mostró magnitudes pequeñas a moderadas en los protocolos con BFR con RT, mientras que el entrenamiento convencional de alta carga presentó un tamaño del efecto grande. Los mayores tamaños del efecto en protocolos con BFR se observaron cuando se combinaron cargas bajas de RT (20–40 % de 1-RM) con presiones del manguito moderadas a altas, expresadas como porcentaje de la oclusión arterial o mediante presiones absolutas elevadas. Respecto a la masa muscular, todos los estudios reportaron aumentos tras la intervención con BFR+RT; sin embargo, debido a la heterogeneidad en los métodos de medición utilizados, no fue posible realizar un análisis cuantitativo del tamaño del efecto, por lo que los resultados fueron sintetizados de manera descriptiva.

Conclusión: La evidencia disponible indica que el entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con BFR es una estrategia efectiva para mejorar la fuerza y la masa muscular utilizando cargas bajas a moderadas. La presión aplicada en el manguito emerge como un factor modulador relevante de las adaptaciones musculares, especialmente cuando el entrenamiento se realiza a baja intensidad, observándose mayores efectos con presiones moderadas a altas sobre 80% OPA. No obstante, cuando se emplean intensidades moderadas de ejercicio, la influencia del nivel de presión tiende a atenuarse, sugiriendo que la carga mecánica desempeña un rol predominante en la magnitud de las adaptaciones. A pesar de los resultados positivos, la heterogeneidad metodológica y la falta de estandarización en la prescripción de la presión del manguito limitan la comparación entre estudios. Se requieren futuras investigaciones que evalúen de forma sistemática la relación dosis–respuesta de la presión del manguito y sus efectos a largo plazo en distintas poblaciones, con el fin de optimizar la aplicación clínica y deportiva del BFR.

Palabras claves: Restricción de flujo sanguíneo - Entrenamiento de resistencia - Presión del manguito - Fuerza muscular - Hipertrofia muscular.

ÍNDICE

1. Resumen

2. Formulación general del trabajo de grado

2.1 Ejercicio de resistencia y restricción de flujo sanguíneo6

2.1.1 Determinación de la presión del manguito6

2.1.2 Ancho del manguito.....7

2.1.3 Carga del ejercicio7

2.1.4 Volumen de ejercicio7

2.1.5 Periodos de descanso7

2.1.6 Frecuencia de utilización7

2.1.7 Seguridad7

2.2 Variabilidad en la presión del manguito en el entrenamiento con BFR.....8

3. Pregunta, objetivo general y específicos

3.1 Pregunta de investigación.....10

3.2 Objetivo general10

3.3 Objetivos específicos10

3.3.1 Identificación de presiones del manguito utilizadas.....10

3.3.2 Efectos sobre la fuerza muscular según presión.....10

3.3.3 Efectos sobre la masa muscular según presión10

3.3.4 Efectos adversos según presión utilizada.10

3.3.5 Poblaciones que se benefician del BFR según presión.....10

4. Metodología y métodos

4.1 Criterios de elegibilidad.....11

4.1.1 Criterios de inclusión.....11

4.1.1.1 Población.11

4.1.1.2 Intervención11

4.1.1.3 Comparador11

4.1.1.4 Resultados.....11

4.1.1.5 Tipo de estudios.....11

4.1.2 Criterios de exclusión.11

4.1.2.1 Población.....11

4.1.2.2 Intervención11

4.1.2.3 Comparador11

4.1.2.4 Resultados11

4.1.2.5 Tipo de estudios11

4.2 Estrategia de búsqueda12

4.3 Proceso de selección de estudios13

4.4 Búsqueda estratégica en PubMed13

4.5 Búsqueda estratégica en Web of Science13

4.5.1 Resultados PubMed.....13

4.5.2 Resultados Web of Science.....13

4.6 Extracción de datos13

4.7 Variable independiente.....13

4.7.1 Presión del manguito.....	13
4.8 Variables dependientes.....	13
4.8.1 Fuerza muscular.....	13
4.8.2 Masa muscular.....	13
4.8.3 Efectos adversos.....	14
4.9 Procedimiento de extracción de datos.....	14
4.10 Evaluación de riesgo de sesgo.....	14
4.11 Análisis estadístico	15

5. Resultados

5.1 Selección de estudios.	16
5.2 Riesgo de sesgo de los estudios incluidos.....	18
5.2.1 Sesgo derivado del proceso de aleatorización.....	18
5.2.2 Sesgo debido a desviaciones de las intervenciones previstas.....	19
5.2.3 Sesgo debido a la falta de datos de resultados	19
5.2.4 Sesgo en la medición del resultado	20
5.2.5 Sesgo en la selección del resultado informado	20
5.2.6 Juicio global de riesgo de sesgo	20
5.3 Características de los estudios incluidos	24
5.4 Descripción de la intervención de ejercicio físico	26
5.5 Modalidades y dosificación del entrenamiento con BFR	27
5.6 Efectos de las intervenciones.	29
5.6.1 Cambios en fuerza muscular según presión del manguito.....	29
5.6.2 Cambios en masa muscular según presión del manguito.	29

6. Discusión	32
---------------------------	----

7. Conclusión	35
----------------------------	----

8. Referencias	36
-----------------------------	----

9. ANEXOS	39
------------------------	----

2. FORMULACIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

2.1 Entrenamiento con ejercicios de resistencia y restricción de flujo sanguíneo

La terapia de restricción de flujo sanguíneo es un método de entrenamiento en el que, mediante un torniquete neumático o manguito que aplica presión externa sobre la porción proximal de la extremidad inferior y/o superior (**Figura 1**), se restringe parcial o totalmente el flujo sanguíneo, generando una reducción del retorno venoso y un grado variable de limitación del flujo arterial [25,1]. En términos prácticos, esto permite inducir adaptaciones musculares relevantes utilizando cargas más bajas que las tradicionalmente requeridas en el entrenamiento de resistencia, lo que explica su creciente uso tanto en rendimiento como en rehabilitación [25,20].

La combinación de BFR con entrenamiento con ejercicios de resistencia (ER) se utiliza con el propósito de maximizar hipertrofia, fuerza, resistencia y adaptación muscular, además de favorecer el rendimiento deportivo y procesos de rehabilitación en individuos con afecciones musculoesqueléticas o limitaciones para entrenar con cargas elevadas [25,20]. En este contexto, se ha descrito utilidad en distintas poblaciones, incluyendo adultos jóvenes entrenados y desentrenados, así como personas mayores, lo que ha impulsado el interés por estandarizar su aplicación y comprender qué parámetros determinan su efectividad [25,2].

Desde el punto de vista fisiológico, el estímulo del manguito genera un ambiente hipóxico local, asociado a un aumento del lactato y acumulación de metabolitos. Este entorno incrementa el estrés metabólico y puede producir inflamación celular, activando mecanismos que favorecen una respuesta anabólica y el aumento de síntesis proteica [27,25]. Por ello, el ER con BFR realizado con cargas bajas (aprox. 20–30% de 1RM) puede inducir adaptaciones comparables a las obtenidas con ER tradicional sin BFR a cargas altas (>80% de 1RM), especialmente en términos de hipertrofia y mejoras de fuerza en ciertos contextos [2,17,15]. De hecho, se ha reportado que la población más frecuente en estudios experimentales corresponde a adultos jóvenes desentrenados, lo que influye en la extrapolación de resultados hacia otras poblaciones [17].

En relación con los mecanismos neuromusculares, el ejercicio de resistencia de baja carga con BFR puede inducir fatiga neuromuscular temprana, estimulando aferencias tipo III y IV, modulando la actividad de las motoneuronas alfa y promoviendo un aumento compensatorio del reclutamiento de unidades motoras para sostener la producción de fuerza, incluyendo una mayor participación de fibras tipo II en condiciones de estrés metabólico elevado [11]. En paralelo, se ha descrito una respuesta hormonal y molecular asociada al estímulo, en la que el ejercicio favorece la liberación de hormona del crecimiento y la activación de vías anabólicas como IGF-1 y Akt-mTOR, mientras que la hipoxia inducida por el manguito estimula factores como HIF-1 α e incrementa la expresión de mediadores proinflamatorios (por ejemplo, interleucina-6), asociados a proliferación de células satélite y procesos de remodelación muscular [26,29,3].

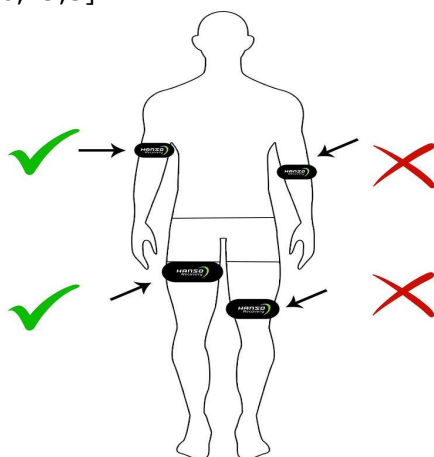


Figura 1. Ubicación de torniquetes

2.1.1 Determinación de la presión del manguito

Existen diversos métodos para determinar qué presión utilizar para producir oclusión sanguínea durante el BFR. Un enfoque ampliamente recomendado es la Presión de Oclusión Arterial individual (POA), que corresponde a la presión necesaria para producir una restricción completa del flujo arterial en una extremidad (100% POA). A partir de esta, los estudios suelen trabajar con porcentajes de POA. En la revisión sistemática de Clarkson et al. (2020), se reportó que los estudios experimentales han utilizado porcentajes que varían ampliamente (aprox. 30%–100% OPA), lo que evidencia falta de estandarización [17]. Por su parte, Patterson et al., proponen rangos prácticos de trabajo entre 40%–80% POA, planteando un balance entre estímulo y tolerabilidad, dado que presiones muy altas incrementan percepción del esfuerzo y podrían aumentar la probabilidad de efectos adversos, mientras que presiones más bajas tienden a ser mejor toleradas [25,13,16]. No obstante, se ha señalado que en muchos casos estos rangos se aplican sin una justificación metodológica clara [17].

Un segundo enfoque, frecuente en la literatura, corresponde al uso de presiones absolutas no individualizadas (por ejemplo, aplicar el mismo valor en mmHg a todos los participantes). La revisión sistemática de Murray et al. (2021), describió que una proporción relevante de estudios utiliza presiones predeterminadas no individualizadas; además, reportó valores típicos en torno a 160–200 mmHg [8]. Este método resulta metodológicamente débil y potencialmente riesgoso, ya que la misma presión puede producir grados muy distintos de restricción entre sujetos, llegando en algunos casos a oclusión completa del flujo, especialmente si el ancho del manguito o las características del miembro facilitan una compresión más efectiva [8].

2.1.2 Ancho del manguito

La presión requerida para lograr una oclusión efectiva depende directamente del ancho del manguito. Manguitos más anchos (>13 cm) requieren menor presión para alcanzar una oclusión comparable a manguitos más estrechos (<7 cm), debido a una mayor superficie de contacto sobre el tejido. Por lo mismo, presiones “bajas” con manguitos anchos no necesariamente implican menor riesgo, ya que una mayor área de compresión puede incrementar la carga sobre estructuras vasculares si la presión no se ajusta de manera adecuada [25].

2.1.3 Carga del ejercicio

En la práctica, el BFR suele combinarse con cargas bajas a moderadas, generalmente entre el 20 % y 40 % de una repetición máxima (1RM). En este rango de intensidad se han reportado adaptaciones en fuerza e hipertrofia comparables a las obtenidas mediante entrenamiento tradicional de alta carga (>70 % 1RM), pero con una menor demanda mecánica sobre las articulaciones y los tejidos, lo que resulta especialmente relevante en contextos de rehabilitación o en poblaciones con limitaciones funcionales [37].

2.1.4 Volumen de ejercicio

Respecto al volumen, uno de los esquemas más utilizados en la literatura corresponde al protocolo de 75 repeticiones distribuidas en cuatro series (30 repeticiones en la primera serie y 15 repeticiones en las tres series siguientes). Este modelo busca inducir una elevada fatiga metabólica mediante el uso de cargas bajas y suele llevar al sujeto a una proximidad al fallo muscular en las últimas series, siendo suficiente para generar adaptaciones musculares en la mayoría de las personas que realizan entrenamiento de resistencia con BFR [25].

2.1.5 Periodos de descanso

Los períodos de descanso también influyen de manera relevante en la magnitud del estímulo. El metaanálisis de Loenneke et al. (2012), mostró que descansos breves, entre 30 y 60 segundos, se asocian a mayores niveles de estrés metabólico y mejores adaptaciones musculares [10]. En relación con la aplicación de la oclusión durante los descansos, se ha descrito que la oclusión continua puede mantener un mayor estrés metabólico en comparación con la oclusión intermitente; sin embargo, la tolerancia individual del sujeto debe considerarse al momento de prescribir esta variable [10,25,28].

2.1.6 Frecuencia de utilización

En cuanto a la frecuencia, se ha propuesto que realizar entrenamiento con ejercicios de resistencia con BFR entre dos y tres veces por semana es suficiente para inducir mejoras significativas de fuerza e hipertrofia muscular, permitiendo además una adecuada recuperación entre sesiones. Frecuencias mayores no parecen generar beneficios adicionales proporcionales y, en algunos casos, pueden incrementar la sensación de fatiga o incomodidad, especialmente en poblaciones específicas [29,5,1].

2.1.7 Seguridad

Los efectos adversos que pueden ocasionarse debido a una oclusión del flujo sanguíneo se deben más que nada al realizar una alta o máxima presión a través del manguito [9,7], en el cual se destacan la hemorragia subcutánea, hematoma, entumecimiento, anemia cerebral, sensación de enfriamiento, trombo venoso, aparición de dolor muscular tardío, enfermedad isquémica cardíaca, sensación de mareo e incremento de la presión arterial [24,9]. Por último, uno de los efectos adversos más preocupantes y que mayor resguardo hay que poseer es por la posible formación de trombos venosos los cuales tienen una mayor posibilidad de aparición si la oclusión generada por el manguito restringe de manera total el retorno venoso o incluso menos, en donde, puede producirse durante la oclusión sanguínea o posterior a esta cuando ya se encuentra desinflando el manguito y estas posibilidades aumentan además si se llega al fallo muscular con una oclusión del flujo venoso completo. Esto pudiendo generar una micro oclusión sanguínea aun posterior a la realización de ejercicio con BFR con el riesgo de ocasionar daño muscular y/o necrosis celular [7]. Por lo tanto, hay que colocar mucho énfasis en una medición individualizada para la presión ya que al utilizar presiones arbitrarias puede ocasionar una restricción de flujo completo en el flujo arterial y venoso aumentando las posibilidades de padecer algún efecto adverso por no existir un protocolo y fundamento en el uso de una presión efectiva y segura para la población.

2.2 Variabilidad en la presión del manguito en el entrenamiento con BFR

El entrenamiento de resistencia con restricción de flujo sanguíneo (BFR) se ha consolidado como una estrategia eficaz para mejorar la fuerza y la masa muscular utilizando cargas bajas, generalmente entre el 20 % y 40 % de una repetición máxima (1RM) [4,15,27]. La evidencia disponible indica que este enfoque puede generar adaptaciones similares, e incluso superiores en determinados contextos, en comparación con el entrenamiento tradicional de alta carga o con protocolos de baja carga sin restricción [10,15,20].

Estos efectos se han observado en diversas poblaciones, incluyendo adultos jóvenes, adultos mayores y sujetos con condiciones musculoesqueléticas, lo que respalda su utilidad en el ámbito clínico. En particular, su aplicación resulta relevante en contextos de rehabilitación, donde el uso de altas cargas puede no ser viable o estar contraindicado [14,36].

A pesar de estos resultados positivos, uno de los principales problemas en la literatura sobre BFR radica en la heterogeneidad metodológica asociada a la prescripción de la presión del manguito. La mayoría de los ensayos clínicos utiliza parámetros de oclusión distintos, lo que dificulta la comparación directa de resultados y la interpretación de la efectividad real del estímulo [17]. En muchos estudios se emplea el esquema clásico de volumen de entrenamiento de 75 repeticiones por ejercicio (30-15-15-15), pero con presiones que varían ampliamente, oscilando entre un 40 % y un 80 % de la presión de oclusión arterial (%POA), o bien utilizando presiones estandarizadas para toda la muestra sin individualización previa [19,14,4].

El uso de presiones absolutas o porcentajes uniformes sin considerar la variabilidad individual en la oclusión arterial representa una limitación metodológica relevante, ya que una misma presión puede generar grados de restricción muy distintos entre sujetos, dependiendo de factores como el perímetro del miembro, la composición tisular, la presión arterial basal y el ancho del manguito [8,17]. En este contexto, aplicar un mismo porcentaje o valor de presión a todos los participantes puede llevar tanto a una oclusión insuficiente —disminuyendo el estímulo fisiológico— como a una oclusión excesiva, aumentando la percepción de esfuerzo y el riesgo potencial de efectos adversos [7,13,16].

Desde el punto de vista fisiológico, la presión del manguito cumple un rol central en la magnitud del estrés metabólico inducido durante el ejercicio con BFR. Presiones más altas tienden a generar mayor hipoxia local, acumulación de metabolitos y fatiga periférica, lo que podría potenciar los mecanismos asociados a la hipertrofia y a la mejora de la fuerza [26,29]. Sin embargo, estas mismas presiones elevadas también se asocian a un aumento en la incomodidad, la percepción subjetiva del esfuerzo y una menor tolerancia al ejercicio, factores que pueden limitar la adherencia al entrenamiento y su aplicabilidad clínica [13,16]. Por el contrario, presiones más bajas podrían resultar más seguras y mejor toleradas, pero potencialmente insuficientes para inducir adaptaciones óptimas en todos los contextos [17].

Aunque en los últimos años se ha observado una tendencia hacia la utilización de presiones individualizadas basadas en el %OPA, la literatura aún no ha logrado establecer un consenso claro respecto a cuál sería el porcentaje óptimo que maximiza las adaptaciones musculares sin incrementar el riesgo de eventos adversos. La revisión sistemática de Murray et al. (2021), pone en evidencia esta problemática, señalando que, si bien el uso de % OPA representa un avance metodológico, los rangos empleados siguen siendo amplios y carecen de una justificación uniforme basada en resultados comparativos directos entre distintos niveles de presión [8].

Esta falta de estandarización en la prescripción de la presión del manguito constituye una brecha de conocimiento relevante, ya que limita la transferencia de la evidencia científica hacia la práctica clínica y deportiva [17]. En ausencia de recomendaciones claras, el profesional debe basarse en rangos amplios y criterios indirectos, lo que puede traducirse en intervenciones menos eficientes o, en el peor de los casos, en un uso inadecuado del BFR [25].

En este contexto, resulta necesario revisar y sistematizar la evidencia disponible respecto a la efectividad del entrenamiento con BFR en función de la presión aplicada en el manguito. Analizar cómo diferentes estudios han utilizado distintas presiones y qué resultados se han reportado en términos de fuerza, masa muscular y seguridad permite aportar claridad a un aspecto metodológico clave del BFR, justificando así la realización de la presente revisión de la literatura [35].

3. PREGUNTA, OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

3.1 Pregunta de investigación

¿Qué se sabe en la literatura sobre cómo los distintos niveles de presión del manguito se asocian al aumento de fuerza y masa muscular en extremidad inferior durante el entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con restricción de flujo sanguíneo?

3.2 Objetivo general.

Determinar qué se conoce en la literatura sobre el entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con restricción de flujo sanguíneo para el aumento de fuerza y masa muscular en extremidad inferior, en función de la presión utilizada en el manguito.

3.3 Objetivos específicos.

- Identificar cómo diferentes estudios han utilizado distintas presiones de manguito durante el entrenamiento con BFR.
- Describir los efectos reportados sobre la fuerza muscular en las extremidades inferiores según la presión de oclusión.
- Describir los efectos reportados sobre la masa muscular en las extremidades inferiores según la presión de oclusión.
- Sintetizar la información disponible sobre posibles efectos adversos según la presión utilizada.
- Identificar las poblaciones específicas que se benefician más del BFR con diferentes presiones del manguito.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo realizar una revisión de la literatura para investigar la efectividad del entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con restricción de flujo sanguíneo (BFR) en el aumento de fuerza y masa muscular en función de la presión utilizada en el manguito. La elección de este enfoque metodológico se fundamenta en diversas razones que justifican su pertinencia y relevancia para abordar la pregunta de investigación planteada. El protocolo utilizado para orientar el desarrollo de la metodología fue PRISMA-ScR (Tricco et al., 2018).

4. METODOLOGÍA Y MÉTODOS

4.1 Criterios de elegibilidad

4.1.1 Criterios de inclusión

4.1.1.1 Población:

- Se incluirán estudios con participantes mayores de edad, independientemente de su condición física, estado de salud o contexto (poblaciones clínicas y no clínicas).

4.1.1.2 Intervención:

- Se incluirán estudios que evalúen el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (BFR) utilizando manguitos de presión.
- La presión utilizada deberá estar especificada en milímetros de mercurio (mmHg) o como porcentaje de oclusión arterial total.

4.1.1.3 Comparador:

- Se incluirán estudios que comparen la efectividad de diferentes presiones de oclusión.
- También se considerarán estudios que evalúen la efectividad del BFR frente a otros métodos de entrenamiento, aunque no comparen directamente niveles de presión.

4.1.1.4 Resultados:

- Se incluirán estudios que midan:
 - Fuerza muscular (directamente o mediante indicadores funcionales como torque).
 - Masa muscular (directamente o mediante variables funcionales asociadas).
 - Efectos adversos relacionados con el BFR.

4.1.1.5 Tipo de estudios:

- Se incluirán Ensayos Controlados Aleatorizados, Estudios Cuasi-experimentales, Estudios de cohorte, Estudios transversales, Estudios de casos y controles, Revisiones sistemáticas y metaanálisis.
- También se incluirán estudios prospectivos con diseño adecuado para evaluar fuerza o masa muscular.

No se aplicaron restricciones por año de publicación, considerando la limitada cantidad de estudios disponibles que analizan la presión del manguito en el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

4.1.2 Criterios de exclusión

4.1.2.1 Población:

- Poblaciones específicas como mujeres embarazadas.

4.1.2.2 Intervención:

- Se excluirán estudios que no utilicen manguitos de presión para la restricción de flujo sanguíneo o que no especifiquen la presión utilizada en la intervención, así como aquellos que empleen métodos de restricción no estandarizados o que no permitan cuantificar de manera objetiva la presión aplicada.

4.1.2.3 Comparador:

- Se excluirán estudios que no proporcionen datos comparativos entre diferentes niveles de presión de oclusión o entre el entrenamiento con BFR y otros métodos de entrenamiento.

4.1.2.4 Resultados:

- Se excluirán estudios que reporten únicamente variables indirectas que no presenten una relación clara con la fuerza o la masa muscular.

4.1.2.5 Tipos de estudios:

- No se aplican restricciones adicionales.

4.2 Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura científica considerando los criterios de elegibilidad previamente definidos. La búsqueda se llevó a cabo en dos bases de datos electrónicas: **PubMed** y **Web of Science (WoS)**. Se utilizaron términos controlados mediante *Medical Subject Headings* (MeSH), facilitando la identificación precisa de estudios relacionados con el entrenamiento con BFR. Se utilizó WoS para una cobertura más amplia, permitiendo identificar artículos relevantes que no siempre se encuentran indexados en PubMed.

La búsqueda se realizó durante el mes de noviembre de 2025, sin restricciones de idioma ni de año de publicación, debido a la limitada cantidad de estudios que abordan específicamente la presión de oclusión en el entrenamiento con BFR. Para la estrategia de búsqueda se utilizaron términos libres y términos MeSH relacionados con restricción de flujo sanguíneo, presión de oclusión, fuerza muscular e hipertrofia, los cuales fueron organizados de acuerdo con la estructura PICO_R (Población, Intervención, Comparador y Resultados). La combinación de los términos se realizó mediante el uso de operadores booleanos AND y OR, adaptando la sintaxis según los requerimientos de cada base de datos (**Tabla 1**).

Tabla 1. Estrategia de Búsqueda

PICO _R	Términos Libres	Términos MeSH	Operadores Booleanos
Paciente	1. Adult		
Intervención	2. "Blood Flow Restriction" 3. "Blood Flow Restriction Training" 4. "Vascular Occlusion Training" 5. "Kaatsu training" 6. kaatsu 7. "Cuff Pressure"	1. "Blood Flow Restriction Therapy" [Mesh]	("Blood Flow Restriction") OR (blood flow restriction) OR ("Blood Flow Restriction Training") OR (Blood Flow Restriction Training) OR ("Blood Flow Restriction Therapy"[Mesh]) OR ("Vascular Occlusion Training") OR (Vascular Occlusion Training)
Comparación			
Resultados	1. "Muscle Strength" 2. "Muscle Hypertrophy" 3. "Muscle Mass" 4. "Hypertrophy"	1. "Muscle Strength" [Mesh]	(((((((((((("muscle Strength") OR (muscle Strength)) OR ("Muscle Strength"[Mesh])) OR (Muscle Hypertrophy)) OR ("Muscle Mass")) OR (Muscle Mass)) OR ("Strength Gain")) OR (Strength Gain)) OR ("Adverse Effect")) OR (Adverse Effect)) OR ("Side Effects")) OR (Side Effects)) OR ("adverse effects" [Subheading])

4.3 Proceso de selección de estudios

Una vez finalizada la búsqueda, los registros obtenidos fueron exportados al software **Zotero**, donde se identificaron y eliminaron los estudios duplicados. Posteriormente, se realizó un proceso de selección en dos etapas. En una primera etapa, se llevó a cabo el tamizaje de títulos y resúmenes para evaluar su pertinencia según los criterios de inclusión y exclusión establecidos. En una segunda etapa, se revisaron los textos completos de los estudios potencialmente elegibles para determinar su inclusión final en la revisión.

El proceso de selección fue realizado de manera independiente por dos revisores (F.P.B. y T.M.A.). Las discrepancias surgidas durante cualquiera de las etapas del proceso fueron resueltas mediante discusión y consenso entre ambos revisores. El proceso fue efectuado por dos revisores, resolviendo las discrepancias mediante consenso, sin necesidad de consultar al tercer revisor (O.M.A.).

4.4 Búsqueda estratégica PubMed: (((Adult) OR ("Adult"[Mesh])) AND (((((((("Blood Flow Restriction") OR ("Blood Flow Restriction Training")) OR ("Blood Flow Restriction Therapy"[Mesh])) OR ("Vascular Occlusion Training")) OR ("Kaatsu training")) OR (Kaatsu)) OR ("Cuff Pressure")))) AND (((((((("Muscle Strength") OR ("Muscle Strength"[Mesh])) OR ("Muscle Mass")) OR ("Hypertrophy"[Mesh])) OR (Hypertrophy)) OR ("Muscle Hypertrophy"))

4.5 Búsqueda estratégica Web of Science TS=(Adult AND ("Blood Flow Restriction" OR "Blood Flow Restriction Training" OR "Vascular Occlusion Training" OR "Kaatsu training" OR kaatsu OR "Cuff Pressure" OR "Blood Flow Restriction Therapy") AND ("Muscle Strength" OR "Muscle Hypertrophy" OR "Muscle Mass" OR "Hypertrophy"))

Los resultados de ambas bases de datos fueron exportados e importados en el software Zotero para asegurar la integridad del proceso.

4.5.1 PubMed: 412 resultados.

4.5.2 WOS: 286 resultados.

Tras aplicar la herramienta de detección de duplicados en Zotero, se identificaron y se eliminaron 127 artículos duplicados, quedando un total de 571 estudios únicos.

Posteriormente, se realizó una primera etapa de selección mediante la lectura de títulos, aplicando los criterios de elegibilidad previamente definidos. Luego, se evaluaron los resúmenes de los estudios potencialmente pertinentes y, finalmente, los textos completos.

4.6 Extracción de datos

Se definió como variable independiente para evaluar la efectividad del entrenamiento de BFR.

4.7 Variable independiente:

4.7.1 Presión del Manguito: Diferentes niveles de presión utilizados en el manguito durante el entrenamiento de BFR, tales como: mmHg o % OPA.

4.8 Variables dependientes:

4.8.1 Fuerza muscular: Medidas de fuerza máxima como 1 repetición máxima (1 RM), mediante instrumentos de medición de fuerza en Newton, Kilogramos ya sea mediante fuerza isométrica o dinámica.

4.8.2 Masa muscular: Cambios en la masa muscular medidos mediante Área de Sección Transversal, DEXA, Resonancia magnética, Antropometría y Bioimpedancia.

4.8.3 Efectos Adversos: Incidencia de efectos secundarios o adversos reportados ya sea durante el entrenamiento con BFR o posterior a este.

4.9 Extracción de los datos

La extracción de datos se realizó mediante formularios estandarizados elaborados en hojas de cálculo del software Microsoft Excel, con el objetivo de asegurar una selección sistemática y uniforme de la información.

Se utilizaron planillas destinadas a registrar, en primer lugar, la información general de cada artículo incluido y la verificación de los criterios de elegibilidad. Posteriormente, se consignaron las características propias de cada estudio, incluyendo el diseño metodológico, la población o participantes, las características de la intervención con restricción de flujo sanguíneo, los comparadores cuando correspondía y las variables de desenlace relacionadas con fuerza y masa muscular.

4.10 Evaluación de riesgo de sesgo

La evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos se realizó utilizando las herramientas recomendadas por Cochrane, Risk of Bias 2 (RoB-2) para los ensayos clínicos aleatorizados [41] y ROBINS-I para los estudios no aleatorizados [42]. Ambas herramientas permiten evaluar de forma estructurada los principales dominios de sesgo relacionados con el diseño, la ejecución y el reporte de los estudios.

La herramienta RoB-2 considera cinco dominios:

- Sesgo derivado del proceso de aleatorización.
- Sesgo debido a desviaciones de las intervenciones previstas.
- Sesgo debido a la falta de datos de resultados.
- Sesgo en la medición del resultado.
- Sesgo en la selección del resultado informado.

A partir de estos dominios, cada estudio fue clasificado con un juicio global de riesgo de sesgo como bajo riesgo, algunas preocupaciones o alto riesgo.

En el caso de los estudios no aleatorizados, se utilizó la herramienta ROBINS-I:

- Sesgo debido a confusión.
- Sesgo en la selección de los participantes.
- Sesgo en la clasificación de las intervenciones.
- Sesgo debido a desviaciones de las intervenciones previstas.
- Sesgo debido a datos de resultados incompletos.
- Sesgo en la medición del resultado.
- Sesgo en la selección del resultado reportado.

Clasificando cada dominio y el riesgo global como bajo, moderado, serio, crítico o sin información, según las directrices propuestas por Cochrane.

Para la representación esquemática de la estratificación del riesgo de sesgo, los estudios evaluados con la herramienta RoB-2 fueron graficados utilizando el software Review Manager (RevMan) versión 5.4, mediante tablas de juicio por dominio y gráficos de distribución porcentual. En el caso de los estudios no aleatorizados evaluados con la herramienta ROBINS-I, la visualización del riesgo de sesgo por dominios y del juicio global se realizó mediante la plataforma RobVis, la cual permite representar gráficamente las categorías de riesgo (bajo, moderado, serio y crítico) conforme a las directrices propuestas por Cochrane [43,44,45,46].

4.11 Análisis estadístico

Los resultados se presentaron de manera descriptiva y tabulada, resumiendo las características metodológicas de los estudios incluidos (población, intervención, presión de oclusión, comparadores, variables de resultado y principales hallazgos). Debido a la heterogeneidad entre estudios en términos de población, protocolos de entrenamiento, determinación de la presión de oclusión y medición de la masa muscular (por ejemplo, CSA por imagen versus bioimpedancia), se efectuó una síntesis narrativa y, cuando fue posible, un análisis cuantitativo del tamaño del efecto para la variable fuerza.

Para estimar la magnitud del cambio en fuerza muscular, se calculó el tamaño del efecto intragrupal pre-post mediante la *d* de Cohen, utilizando las medias y desviaciones estándar reportadas en cada estudio. La *d* de Cohen se calculó como:

FÓRMULA DE *d* COHEN

$$d_s = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)SD_1^2 + (n_2 - 1)SD_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}}$$

d = tamaño del efecto *d* de Cohen; ***X*₁** y ***X*₂** = corresponden a las medias pre-intervención y post intervención; ***SD*₁** y ***SD*₂** = corresponde a la desviación estándar reportada para cada medición; ***n*₁** y ***n*₂**=número de observaciones o participantes por grupo.

Los datos del estadístico “*d*” de Cohen fueron tabulados de la siguiente forma: sin efecto (<0,2), pequeño (0,2–0,49), mediano (0,5–0,79) y grande (≥0,8).

En el contexto de la presente revisión, se priorizó el cálculo del tamaño del efecto intragrupo, considerando las mediciones pre-intervención y post intervención dentro de cada grupo experimental. Este enfoque fue seleccionado debido a que no todos los estudios contaban con grupos control comparables ni con protocolos homogéneos de intervención, lo que limita las comparaciones intergrupales directas. De esta forma, el análisis intragrupo permitió identificar la magnitud de los cambios en fuerza muscular asociados a los distintos niveles de presión de oclusión utilizados en los protocolos de BFR.

Para la variable de masa muscular, no se realizó el cálculo del tamaño del efecto debido a la utilización de distintos métodos de medición entre los estudios incluidos (por ejemplo, área de sección transversal muscular mediante resonancia magnética, ultrasonido y bioimpedancia), lo que impide una comparación cuantitativa adecuada. En estos casos, los resultados fueron analizados de manera descriptiva, considerando la dirección y magnitud de los cambios reportados.

El análisis estadístico realizado tuvo como objetivo complementar la síntesis narrativa de los resultados, aportando una aproximación cuantitativa que permitiera contextualizar las adaptaciones en fuerza

muscular reportadas en función de las presiones de oclusión utilizadas, sin pretender establecer relaciones causales ni determinar la superioridad estadística de un protocolo sobre otro, en coherencia con el diseño metodológico de una *Scoping Review*.

5. RESULTADOS

5.1 Selección de estudios

Tras la eliminación de duplicados, se obtuvieron 571 registros únicos. El proceso de selección consistió en una revisión inicial por título, mediante la cual se excluyeron aquellos estudios no relacionados con entrenamiento de resistencia con restricción de flujo sanguíneo (BFR), que no evaluaban fuerza o masa muscular, o que no especificaron información relevante sobre la presión de oclusión. Posteriormente, se evaluaron los resúmenes de los estudios potencialmente pertinentes, seleccionando aquellos que cumplieran con los criterios de elegibilidad en cuanto a población, intervención y variables de resultado. Finalmente, tras la revisión de texto completo, se incluyeron 4 estudios en la presente revisión de la literatura, provenientes de las bases de datos PubMed y WoS (**Figura 2**).

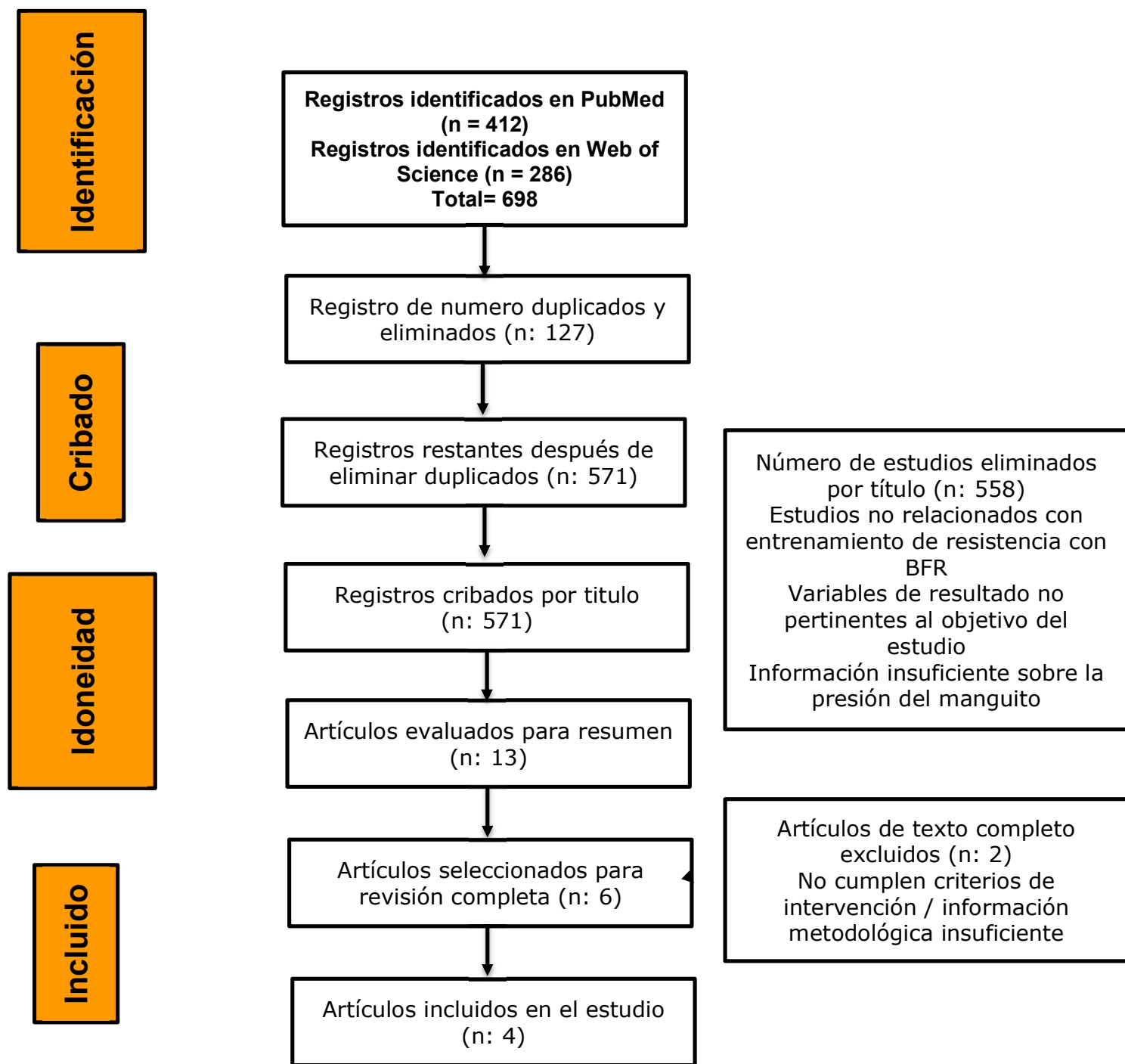


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA: Proceso de búsqueda y selección de estudios.

5.2 Riesgo de sesgos de los estudios incluidos

La evaluación del riesgo de sesgo se realizó considerando el diseño metodológico de cada estudio incluido.

Para los ensayos clínicos aleatorizados, se utilizó la herramienta *Cochrane Risk of Bias 2* (RoB-2) [41], mientras que para los estudios no aleatorizados se empleó la herramienta ROBINS-I [42].

En específico, la herramienta RoB-2 fue aplicada a los estudios de Lixandrão et al. (2015) y Chang et al. (2024), ambos con diseño de ensayo clínico aleatorizado [37,38] (**Figura 3** y **Figura 4**).

Por su parte, la herramienta ROBINS-I se utilizó para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios no aleatorizados, correspondientes a Noyes et al. (2021) y Yasuda et al. (2014) [36,40] (**Figura 5** y **Figura 6**).

Esta diferenciación permite una evaluación del riesgo de sesgo acorde al diseño de cada estudio, respetando las recomendaciones metodológicas de la Colaboración Cochrane.

5.2.1 Sesgo derivado del proceso de aleatorización

El estudio de Lixandrão et al. (2015), presentó bajo riesgo de sesgo en este dominio, ya que reportó una asignación aleatoria adecuada de las intervenciones entre las extremidades, con grupos comparables al inicio del estudio [37].

En contraste, el estudio de Chang et al. (2024), mostró algunas preocupaciones, debido a que, si bien se menciona la asignación aleatoria de los participantes a los grupos de intervención, no se describe con suficiente detalle el método de generación ni el ocultamiento de la secuencia de aleatorización, lo que limita la evaluación completa de este dominio [38].

5.2.2 Sesgo debido a desviaciones de las intervenciones previstas

En ambos estudios, los participantes y los investigadores conocían la intervención asignada, lo cual es esperable dada la naturaleza del entrenamiento con ejercicio y la imposibilidad práctica de implementar cegamiento.

En el estudio de Lixandrão et al. (2015), se identificó alto riesgo de sesgo en este dominio, debido al diseño unilateral del protocolo, en el cual cada extremidad fue sometida a una condición diferente. Esta característica, sumada a la ausencia de un análisis por intención de tratar, impide descartar completamente que se hayan producido desviaciones de la intervención prevista relacionadas con diferencias en el esfuerzo voluntario o en la ejecución del ejercicio entre condiciones [37].

Por su parte, Chang et al. (2024), presentó algunas preocupaciones en este dominio. Si bien las intervenciones fueron estandarizadas y supervisadas, y no se reportaron desviaciones relevantes del protocolo, la ausencia de cegamiento podría haber influido de manera limitada en la adherencia o ejecución del entrenamiento, sin que esto haya sido documentado como un problema significativo en los resultados [38].

5.2.3 Sesgo debido a la falta de datos de resultados

Ambos estudios presentaron bajo riesgo de sesgo en este dominio. En Lixandrão et al. (2015) y Chang et al. (2024) se reportaron datos completos para las variables de resultado principales, sin pérdidas relevantes de participantes durante el seguimiento ni ausencia de información que pudiera afectar la validez de los análisis. Asimismo, los resultados fueron analizados considerando la totalidad de los participantes incluidos en cada protocolo, lo que permite descartar un impacto significativo de datos faltantes sobre la estimación de los efectos observados [37,38].

5.2.4 Sesgo en la medición del resultado

En Lixandrão et al. (2015), se identificaron algunas preocupaciones en este dominio. Si bien se utilizaron métodos objetivos y validados para la medición de la fuerza y la masa muscular, tales como pruebas de 1RM y resonancia magnética, no se reportó cegamiento de los evaluadores. Dado que los evaluadores conocían la intervención aplicada, no puede descartarse completamente la posibilidad de influencia en la medición de los resultados [37].

En el estudio de Chang et al. (2024), el riesgo de sesgo fue considerado bajo, ya que las mediciones de fuerza se realizaron mediante procedimientos estandarizados y objetivos, aplicados de manera uniforme entre los grupos, lo que reduce la probabilidad de sesgo en la evaluación de los desenlaces [38].

5.2.5 Sesgo en la selección del resultado informado

El estudio de Lixandrão et al. (2015), presentó bajo riesgo de sesgo en este dominio, ya que los desenlaces reportados fueron consistentes con los objetivos y métodos descritos en la sección metodológica, sin evidencia de selección selectiva de resultados [37].

En contraste, Chang et al. (2024), mostró algunas preocupaciones, debido a la ausencia de un protocolo previamente registrado o de información suficiente que permita confirmar que todos los desenlaces planificados fueron reportados de manera íntegra, lo que impide descartar completamente la posibilidad de reporte selectivo [38].

5.2.6 Juicio global de riesgo de sesgo

Considerando los cinco dominios evaluados mediante la herramienta RoB-2, el estudio de Lixandrão et al. (2015) fue clasificado con un riesgo global de sesgo alto, debido principalmente al alto riesgo identificado en el dominio relacionado con las desviaciones de las intervenciones previstas, lo que podría influir en la estimación del efecto de la intervención [37].

Por su parte, Chang et al. (2024) fue clasificado con algunas preocupaciones, principalmente asociadas al proceso de aleatorización y a la selección del resultado informado, sin identificarse dominios con alto riesgo de sesgo [38].

	Bias derived from the randomization process	Bias due to deviations from planned interventions	Bias due to lack of results data	Bias in measuring the outcome	Bias in the selection of the reported outcome
Chang, 2024	+	?	+	+	?
Lixandrão, 2015	+	-	+	?	+

Figura 3. Resumen del riesgo de sesgo: juicios de los autores de la revisión sobre cada elemento de riesgo de sesgo para cada estudio aleatorizado incluido.

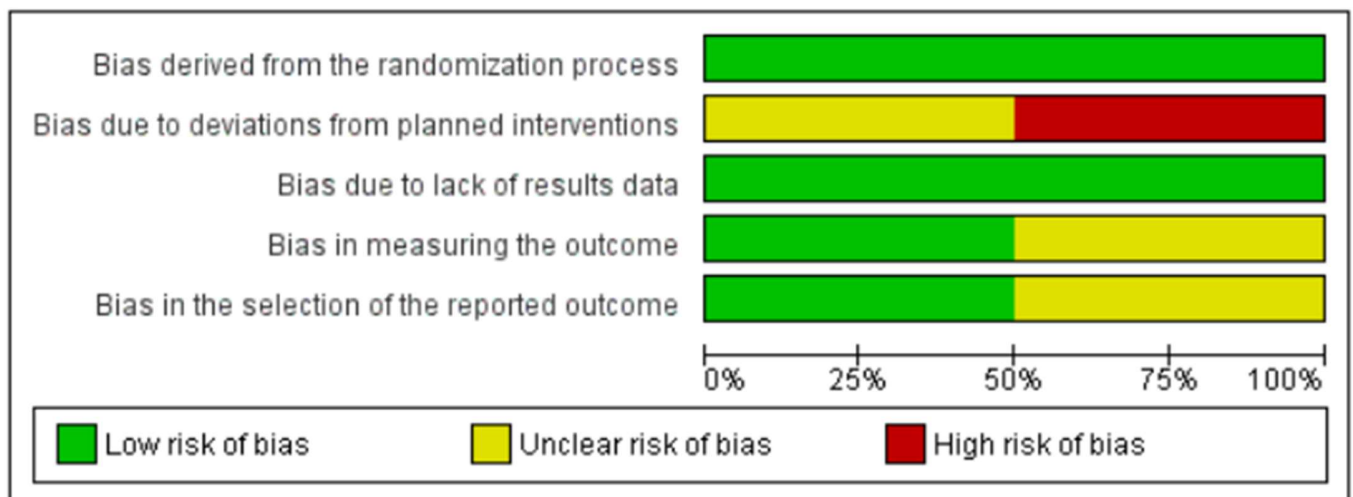


Figura 4. Gráfico de riesgo de sesgo: juicios de los autores de la revisión sobre cada elemento de riesgo de sesgo presentado como porcentajes en todos los estudios aleatorizados incluidos.

D1: Sesgo debido a confusión (*Bias due to confounding*).

Los estudios evaluados mediante la herramienta ROBINS-I presentaron distintos niveles de riesgo de sesgo en el dominio de confusión, atribuibles principalmente a su diseño no aleatorizado. En general, ambos estudios carecen de asignación aleatoria y de un grupo control estrictamente comparable, lo que aumenta la probabilidad de que variables externas influyan en los resultados observados.

Los estudios no reportan un control adecuado de potenciales factores de confusión relevantes, tales como el nivel funcional basal, el estado de salud previo, la actividad física habitual, el tiempo de evolución de la condición clínica o los procesos fisiológicos propios del envejecimiento. En el estudio de Noyes et al. (2021), la inclusión de pacientes con atrofia muscular postquirúrgica crónica, sin un ajuste estadístico por variables clínicas clave como tipo de cirugía, tiempo desde la intervención quirúrgica o grado inicial de atrofia, incrementa la probabilidad de que los cambios observados en la fuerza muscular no se atribuyen exclusivamente al entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, clasificándose este dominio como de riesgo serio [36].

El estudio de Yasuda et al. (2014), presenta un diseño cuasi-experimental con mediciones pre y post intervención en adultos mayores clínicamente estables. Si bien no se incorporó un grupo control concurrente, la intervención se encuentra claramente definida, el periodo de seguimiento es acotado y se utilizaron mediciones repetidas en los mismos sujetos, lo que contribuye a reducir parcialmente el impacto de factores de confusión mayores. No obstante, persisten posibles influencias de variables no controladas, como cambios espontáneos relacionados con el envejecimiento o efectos de aprendizaje, por lo que este dominio fue clasificado como de riesgo moderado [40].

D2: Sesgo en la selección de participantes en el estudio (*Bias in selection of participants into the study*).

En los estudios evaluados, los participantes fueron reclutados antes del inicio de las intervenciones y en función de criterios clínicos o etarios previamente definidos. No se identificó evidencia de que la inclusión de los sujetos estuviera relacionada con los resultados posteriores del entrenamiento.

En el estudio de Noyes et al. (2021), la selección se centró en pacientes con atrofia muscular crónica postoperatoria refractaria a rehabilitación convencional, lo que limita la generalización de los resultados, pero no sugiere una selección dependiente del desenlace [36]. En el estudio de Yasuda et al. (2014), los participantes fueron personas mayores reclutados de forma prospectiva, sin exclusiones diferenciales posteriores al inicio del estudio [40].

No obstante, la ausencia de aleatorización y el carácter no aleatorizado de ambos diseños implican un posible sesgo de selección relacionado con características basales de los participantes. Por este motivo, el riesgo de sesgo en este dominio para ambos estudios fue clasificado como moderado.

D3: Sesgo en la clasificación de las intervenciones (*Bias in classification of interventions*).

En ambos estudios, las intervenciones fueron claramente definidas y descritas, incluyendo tipo de ejercicio, intensidad y aplicación del BFR. No se identificó evidencia de errores sistemáticos en la clasificación de los participantes según la intervención recibida. Por lo tanto, el riesgo de sesgo en este dominio fue considerado bajo en ambos estudios.

D4: Sesgo debido a desviaciones de las intervenciones previstas (*Bias due to deviations from intended interventions*).

En Noyes et al. (2021) y Yasuda et al. (2014), los participantes y los investigadores conocían la intervención asignada, lo cual es esperable en estudios basados en ejercicio físico. Sin embargo, los protocolos fueron supervisados y estandarizados, y no se reportaron desviaciones relevantes ni co-intervenciones diferenciales entre los grupos. En consecuencia, este dominio fue clasificado como riesgo moderado en ambos estudios [36,40].

D5: Sesgo debido a datos de resultados faltantes (*Bias due to missing data*)

Tanto Noyes et al. (2021) como Yasuda et al. (2014), reportaron de manera completa los datos correspondientes a las variables principales de resultado, sin pérdidas relevantes de participantes ni información incompleta que pudiera comprometer la interpretación de los resultados. El riesgo de sesgo en este dominio fue considerado bajo en ambos estudios [36,40].

D6: Sesgo en la medición de los resultados (*Bias in measurement of outcomes*)

En Noyes et al. (2021), el riesgo de sesgo fue considerado moderado, ya que, si bien las variables de fuerza muscular fueron evaluadas mediante mediciones objetivas (torque isométrico), no se reportó cegamiento de los evaluadores. Dado el contexto clínico y la naturaleza funcional de las mediciones, el conocimiento de la intervención podría haber influido de forma limitada en la evaluación de los resultados [36].

En el estudio de Yasuda et al. (2014), el riesgo de sesgo en este dominio fue clasificado como bajo, debido a que las mediciones de fuerza muscular se realizaron mediante procedimientos estandarizados y objetivos, con protocolos claramente definidos, lo que reduce de manera significativa la probabilidad de influencia del evaluador sobre los resultados [40].

D7: Sesgo en la selección del resultado informado (*Bias in selection of the reported result*)

En Noyes et al. (2021) y Yasuda et al. (2014), los resultados reportados fueron coherentes con los objetivos y métodos descritos en los artículos. Sin embargo, la ausencia de protocolos previamente registrados impide confirmar que todos los desenlaces planificados hayan sido informados de manera íntegra. En consecuencia, este dominio fue clasificado como riesgo moderado en ambos estudios [36,40].



Figura 5. Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios no aleatorizados incluidos mediante la herramienta ROBINS-I.

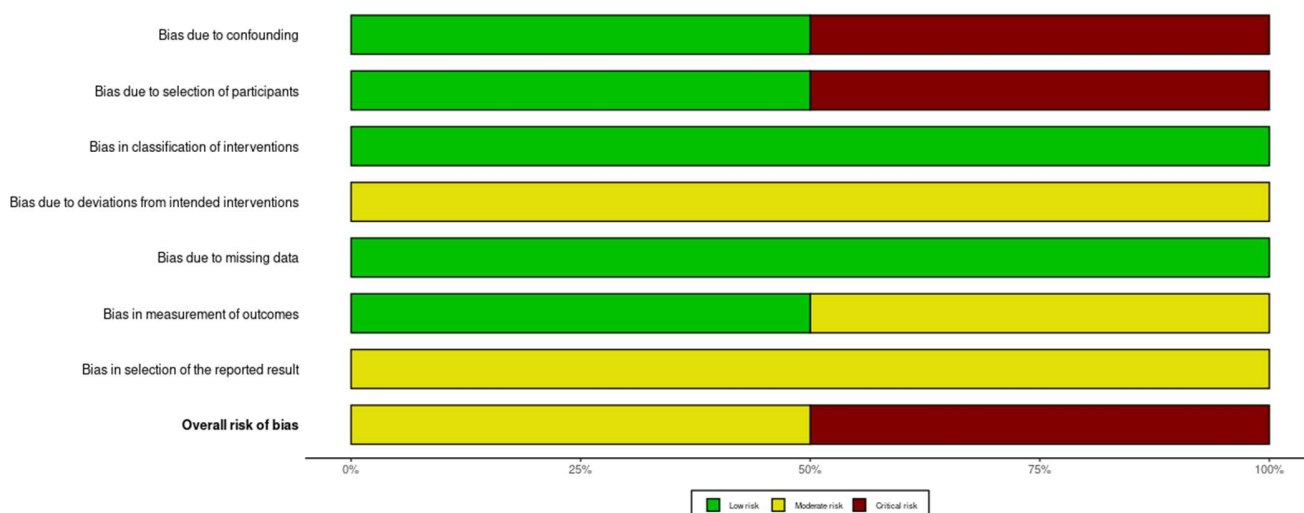


Figura 6. Gráfico de riesgo de sesgo por dominio en los estudios no aleatorizados incluidos, evaluados mediante la herramienta ROBINS-I.

5.3 Características de los estudios incluidos

Tras el proceso de selección, se incluyeron cuatro estudios para el análisis final, correspondientes a dos ensayos clínicos aleatorizados y dos estudios no aleatorizados, los cuales evaluaron el entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con restricción de flujo sanguíneo (BFR) en distintos contextos poblacionales. Los estudios incluidos fueron desarrollados tanto en poblaciones sanas como clínicas, considerando adultos jóvenes no entrenados, adultos mayores y pacientes con atrofia muscular postoperatoria.

La población total reportada por los estudios incluidos fue de 102 participantes adultos, incorporando hombres y mujeres. En términos de sexo, la mayoría de los estudios incluyó predominantemente participantes masculinos, aunque dos investigaciones consideraron ambos sexos, especialmente en poblaciones clínicas y de adultos mayores.

La edad de los participantes presentó una amplia variabilidad de 18 a 78 años, abarcando desde adultos jóvenes sin experiencia reciente en entrenamiento de fuerza hasta adultos mayores. Debido a la heterogeneidad de los diseños de los estudios incluidos, la ausencia de una edad media global reportada en algunos de ellos y la utilización de asignaciones por extremidad en ciertos protocolos no fue posible calcular una edad media ponderada del total de la muestra. Por este motivo, la caracterización etaria de la población se describe mediante los rangos de edad reportados por los estudios individuales.

Al categorizar por sexo, se identificó que el 62,7 % de los participantes correspondía al sexo masculino ($n = 64$), mientras que el 37,3 % correspondía al sexo femenino ($n = 38$). Las características generales de los estudios incluidos y las modalidades de ejercicio aplicadas se presentan en la **Tabla 2**.

Los estudios primarios incluidos correspondieron a ensayos clínicos aleatorizados y estudios prospectivos no aleatorizados, cuyo objetivo general fue examinar las adaptaciones en fuerza y masa muscular asociadas al entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con BFR, considerando diferentes presiones de oclusión, formas de aplicación de la presión (presión absoluta, incremental o expresada como porcentaje de la oclusión arterial) y distintos niveles de intensidad del ejercicio.

En términos generales, las intervenciones evaluadas incluyeron: entrenamiento con ejercicios de resistencia de baja intensidad con BFR ($\approx 20\text{--}40\%$ de 1-RM), entrenamiento con ejercicios de resistencia de alta intensidad sin restricción ($\approx 70\text{--}80\%$ de 1-RM) como condición comparativa, y protocolos de BFR aplicados con presiones absolutas, incrementales o porcentuales.

Tabla 2. Características de los estudios incluidos.

Estudio	Intervención	Grupos / Tamaño de la muestra	Edad (años)	Sexo		Medidas de resultado (Instrumento)
				M	F	
Lixandrão et al. (2015)	BFR-RT al 20–40 % 1-RM con 40–80 % POA; control RT80 sin BFR.	GI ₁ :BFR - RT20/40 (n=11)	GI ₁ =26.1 ± 7.6	11		Fuerza muscular: 1-RM extensión de rodilla (kg) unilateral, evaluado en máquina leg-extension. Masa muscular: Área de sección transversal del cuádriceps (cm ²) mediante resonancia magnética (MRI; GE Healthcare), análisis por planimetría computarizada en corte axial al 50 % del fémur.
		GI ₂ :BFR- RT20/80 (n=14)	GI ₂ =28.9 ± 8.7	14		
		GI ₃ :BFR- RT40/40 (n=8)	GI ₃ = 26.1 ± 7.6	8		
		GI ₄ : BFR- RT40/80 (n=10)	GI ₄ = 28.9 ± 9.2	10		
		GC: RT80 (n=9)	GC= 29.2 ± 9.9	9		
Chang et al. (2024)	BFR al 20 % 1-RM con presión fija (190 mmHg) o progresiva (160–220 mmHg). Grupo control: entrenamiento de alta intensidad al 70 % 1-RM.	GI ₁ : I-BFR (n=11)	–	8	3	Fuerza muscular: 1-RM (kg) en extensión de rodilla, flexión de rodilla y leg press. Composición corporal: masa muscular, masa libre de grasa y BMI (BIA); circunferencia de muslo (cm); densidad mineral ósea y contenido mineral óseo (DXA).
		GI ₂ : A-BFR (n=11)		8	3	
		GC: HL- RT (n=11)	–	8	3	

Yasuda et al. (2014)	Entrenamiento de fuerza de baja intensidad de un 20%-30% de 1 -RM restricción de flujo sanguíneo mediante manguitos elásticos (120-270 mmHg)	GI: BFR-RT (n=8)	GI: 71.3 ± 7.1	3	6	Fuerza muscular: 1-RM (kg) en extensión de rodilla y leg press.
		GC: (n=8)	GC: 67.7 ± 6.0	2	6	Masa muscular: área de sección transversal (CSA, cm ²) de cuádriceps, aductores, isquiotibiales y glúteo mayor, mediante resonancia magnética
Noyes et al. (2021)	Entrenamiento de fuerza de baja intensidad de un 25%-35% de 1-RM a 60%-80% de POA	GU: BFR-RT (n=27)	40.1 ± 18.4	9	18	Fuerza muscular: torque isométrico pico de cuádriceps e isquiotibiales (ft·lb), evaluado mediante dinamometría isocinética (Biodex) y normalizado al peso corporal. Tamaño muscular: circunferencia de muslo (cm).

BFR: restricción del flujo sanguíneo / BFR-RT: entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo / POA: presión de oclusión arterial / 1-RM: una repetición máxima / RT80: entrenamiento de resistencia al 80 % de 1-RM sin restricción de flujo sanguíneo / HL-RT: entrenamiento de resistencia de alta intensidad / I-BFR: restricción de flujo sanguíneo intermitente / A-BFR: restricción de flujo sanguíneo continua / GI: grupo de intervención / GC: grupo control / GU: grupo único / MMII: miembros inferiores / CSA: área de sección transversal muscular / MRI: resonancia magnética / BIA: análisis de impedancia bioeléctrica / DXA: absorciometría dual de rayos X / BMI: índice de masa corporal / kg: kilogramos / cm: centímetros / ft·lb: pie-libra (unidad de torque).

5.4 Descripción de la intervención de ejercicio físico

Dentro de los estudios incluidos se identificaron distintas modalidades de entrenamiento de resistencia asociado con BFR, utilizando principalmente ejercicios para extremidad inferior (extensión de rodilla, flexión de rodilla y prensa de piernas) ejecutados con cargas bajas asociadas a restricción vascular, y comparaciones frente a entrenamiento convencional de alta carga o condiciones control. En conjunto, las intervenciones evaluaron adaptaciones en fuerza máxima (1-RM o estimación de 1-RM) y, en algunos casos, cambios morfológicos musculares mediante resonancia magnética (CSA) [37,38,40,36].

En términos generales, los protocolos con BFR se aplicaron bajo dos enfoques principales de determinación de presión: (1) presión relativa individualizada, expresada como porcentaje de la presión de oclusión arterial, y (2) presión absoluta en mmHg, ya sea fija durante todo el programa o aplicada de manera incremental. Además, la estructura de entrenamiento varió entre protocolos con volumen clásico de BFR (30-15-15-15 repeticiones) y protocolos de series convencionales [37,38]. Los detalles de las modalidades y dosis de ejercicio físico aplicados se encuentran en la Tabla 3.

5.5 Modalidades y dosificación del entrenamiento con BFR

En los ensayos clínicos aleatorizados se compararon estrategias de BFR basadas en presiones absolutas. En el protocolo de BFR con presión fija, se empleó una presión constante de 190 mmHg durante las

sesiones, con carga de 20% de 1-RM, descansos de 1 minuto, y un esquema por ejercicio de 4 series (30-15-15-15 repeticiones). En contraste, el protocolo incremental inició con 160 mmHg, aumentando 20 mmHg cada dos semanas hasta alcanzar 220 mmHg, manteniendo el mismo volumen, carga y periodos de descanso. Como comparador activo, se aplicó entrenamiento de alta carga al 70% de 1-RM, con 3 series de 8 repeticiones y descansos de 1 minuto. Estas intervenciones se realizaron tres veces por semana durante 8 semanas, incluyendo ejercicios de prensa de piernas, extensión y flexión de rodilla. Se indicó un calentamiento estandarizado de 5 minutos previo a cada sesión, control del tempo de ejecución (2 segundos en fase concéntrica y excéntrica), y aplicación bilateral del manguito en el tercio proximal del muslo, utilizando manguitos de aproximadamente 5 cm de ancho, manteniendo la presión inflada durante todo el ejercicio [38].

En otro ensayo experimental con diseño de asignación por extremidad, se aplicaron protocolos unilaterales de extensión de rodilla en máquina durante 12 semanas, con frecuencia de 2 sesiones semanales (24 sesiones totales). Se compararon cuatro condiciones de BFR combinando dos intensidades de carga (20% y 40% de 1-RM) con dos niveles de presión relativa (40% y 80% de oclusión arterial): 20/40, 20/80, 40/40 y 40/80, además de un grupo comparador sin restricción al 80% de 1-RM. En los protocolos con BFR, la presión se mantuvo de forma continua durante toda la sesión. El volumen de entrenamiento progresó desde dos series durante las primeras dos semanas hasta tres series a partir de la tercera semana. Se realizó una reevaluación del 1-RM en la semana 6 con el objetivo de ajustar las cargas de entrenamiento. Previo a cada sesión, los participantes efectuaron un calentamiento general de 5 minutos en trotadora, y el manguito fue colocado proximalmente en el muslo, a nivel del pliegue inguinal [37].

En los estudios no aleatorizados y prospectivos, el entrenamiento con BFR se aplicó principalmente en contextos clínicos y en adultos mayores, utilizando presiones individualizadas en función de la oclusión arterial. En personas mayores, se reportó un programa previo de 12 semanas, con frecuencia de 2 sesiones por semana, empleando extensión de rodilla al 20% de 1-RM y prensa de piernas al 30% de 1-RM, con aplicación de manguitos elásticos en ambas extremidades inferiores y presiones reportadas entre 120 y 270 mmHg durante el entrenamiento. Posteriormente, estos participantes fueron evaluados tras un periodo de 24 semanas de desentrenamiento, manteniendo mediciones de fuerza máxima (1-RM) y área de sección transversal muscular mediante resonancia magnética en tres momentos temporales: preintervención, postintervención y postdesentrenamiento [40].

En población clínica postquirúrgica de rodilla, el entrenamiento con BFR fue aplicado como un protocolo supervisado de 2 a 3 sesiones por semana, completando inicialmente 9 sesiones, con posibilidad de extensión hasta 18 sesiones según tolerancia y disponibilidad del paciente. El programa incluyó ejercicios de prensa de piernas, extensión de rodilla, *mini-squats* y *curl* de isquiotibiales, con cargas estandarizadas entre 25% y 35% de 1-RM. La presión de oclusión se determinó de manera individual mediante Doppler para identificar la oclusión arterial completa, estableciendo posteriormente un rango de trabajo entre 60% y 80% de dicha presión. La presión fue ajustada de acuerdo con la percepción de molestia y fatiga muscular, manteniendo siempre un umbral mínimo del 60% de oclusión. El manguito se mantuvo inflado durante la ejecución de cada ejercicio y se desinfló durante breves periodos de descanso entre bloques, con controles periódicos de la presión aplicada [36].

Tabla 3. Descripción de las terapias de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

Estudio	Frecuencia Semanal	Tiempo	Intensidad	%OAP/m mmHg	Dosificación	Descanso entre serie
Lixandrão et al. (2015)	2 sesiones	12 semanas	BFR-RT: 20% a 40% de 1-RM GC: 80% de 1-RM	40% de POA 80% de POA	2-3 series de 15 repeticiones	60 segundos
Chang et al. (2024)	3 sesiones	8 semanas	BFR-RT: 20% de 1-RM GC: 70% de 1-RM	A-BFR: 190 mmHg I-BFR: 160 mmHg → 220 mmHg	4 series (30-15-15-15 repeticiones)	60 segundos
Yasuda et al. (2014)	2 sesiones	12 semanas	20-30 % 1-RM	120-270 mmHg	4 series (30-20-15-10 repeticiones)	90 segundos
Noyes et al. (2021)	2-3 sesiones	9 semanas	25-35 % 1-RM	60-80 % de POA	4 series (30-15-15-15 repeticiones)	30 segundos

BFR: restricción del flujo sanguíneo / BFR-RT: entrenamiento de resistencia con restricción del flujo sanguíneo / GC: grupo control / 1-RM: una repetición máxima / POA: presión de oclusión arterial / A-BFR: restricción de flujo sanguíneo continua (presión constante) / I-BFR: restricción de flujo sanguíneo intermitente o progresiva / mmHg: milímetros de mercurio / MMII: miembros inferiores / RT: entrenamiento de resistencia / RT80: entrenamiento de resistencia al 80 % de 1-RM sin restricción de flujo sanguíneo / HL-RT: entrenamiento de resistencia de alta carga / sem: semana(s)

5.6 Efecto de las intervenciones

5.6.1 Cambios en fuerza muscular en extensión de pierna a través del entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con el uso BFR en base a la presión utilizada: tamaño del efecto (d de Cohen).

Dentro de la variable fuerza muscular en extensión de rodilla, se consideraron (n = 3) estudios que evaluaron cambios pre y post intervención mediante pruebas de una repetición máxima (1-RM)

[37,38,40]. Los estudios incluidos analizaron protocolos de entrenamiento de resistencia asociado con BFR aplicados con diferentes niveles de presión de oclusión, así como comparaciones con entrenamiento convencional de alta carga.

Respecto a la significancia estadística, todos los estudios incluidos reportaron incrementos significativos en al menos uno de los grupos evaluados tras la intervención, con duraciones que oscilaron entre 8 y 12 semanas de entrenamiento [37,38,40].

En relación con el análisis del tamaño del efecto según la *d* de Cohen, ($n = 3$) estudios presentaron tamaños del efecto positivos para la variable fuerza muscular. De estos, ($n = 2$) estudios alcanzaron tamaños del efecto medianos ($d \approx 0,5-0,7$), mientras que ($n = 1$) estudio mostró un tamaño del efecto grande en el grupo de entrenamiento convencional de alta carga [37]. En los protocolos con BFR, los mayores tamaños del efecto se observaron en intervenciones que combinaron cargas bajas (20–40% 1-RM) con presiones de oclusión moderadas a altas ($\geq 60\%$ de la oclusión arterial o presiones absolutas elevadas) [37,38].

Las intervenciones que lograron mayores magnitudes del efecto incluyeron protocolos supervisados de fortalecimiento muscular, utilizando principalmente máquinas de gimnasio, con esquemas de alto volumen y descansos breves, características típicas del entrenamiento con BFR [37,38]. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la presión de oclusión actúa como un modulador relevante en la magnitud de las adaptaciones de fuerza cuando se utilizan cargas mecánicas reducidas.

Si bien algunos estudios reportaron tamaños del efecto calculados mediante distintos procedimientos estadísticos, para fines de comparación se recalcularon los tamaños del efecto utilizando un método homogéneo basado en las medias y desviaciones estándar pre y post intervención.

5.6.2 Cambios en masa muscular tras intervenciones con entrenamiento con ejercicios de resistencia asociado con restricción de flujo sanguíneo (BFR)

En relación con la variable masa muscular, los estudios incluidos reportaron aumentos consistentes tras la aplicación de entrenamiento de resistencia con restricción de flujo sanguíneo (BFR), independientemente de la población estudiada y del método de medición utilizado [36,37,40]. Sin embargo, debido a la heterogeneidad existente entre los estudios en cuanto a los instrumentos empleados para evaluar la masa muscular, incluyendo resonancia magnética para el área de sección transversal muscular (CSA), ultrasonido y análisis de composición corporal, no fue posible realizar un análisis cuantitativo del tamaño del efecto mediante la *d* de Cohen. Por este motivo, los resultados fueron analizados de manera descriptiva.

Los estudios realizados en adultos jóvenes y adultos mayores sanos mostraron incrementos significativos en el área de sección transversal del cuádriceps y otros grupos musculares del miembro inferior tras protocolos de BFR aplicados con cargas bajas a moderadas (20–40% de 1-RM) y presiones de oclusión entre 50% y 80% de la oclusión arterial, evidenciando que este tipo de entrenamiento es capaz de inducir adaptaciones hipertróficas relevantes aun con estímulos mecánicos reducidos [37,40]. De forma similar, en poblaciones clínicas con atrofia muscular postoperatoria, se observaron aumentos en indicadores morfológicos musculares, como circunferencia de muslo y CSA, tras programas de BFR supervisados, lo que sugiere un efecto positivo del método sobre la recuperación de masa muscular en contextos de rehabilitación [36]. Los detalles de los tamaños del efecto se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Cambios pre-post y tamaño del efecto de las intervenciones con restricción de flujo sanguíneo sobre la fuerza muscular para extensión de cuádriceps.

Estudio	Grupos	Pre- intervención	Post-intervención	Tamaño del efecto (d)	Valor P
Lixandrão et al. (2015)	GE ₁ (BFR-RT20/40)	88.2 ± 15.3 kg	97.3 ± 22.4 kg	0.48*	↑ < 0.05 (Significativo)
	GI ₂ :BFR-RT20/80	87.1 ± 15.0 kg	98.6 ± 18.3 kg	0.67**	↑ < 0.05 (Significativo)
	GI ₃ :BFR-RT40/40 (n=8)	86.9 ± 19.3 kg	97.5 ± 20.9 kg	0.53**	↑ < 0.05 (Significativo)
	GI ₄ : BFR-RT40/80 (n=10)	89.5 ± 19.8 kg	100.8 ± 20.1 kg	0.57**	↑ < 0.05 (Significativo)
	GC: RT80 (n=9)	86.1 ± 13.6 kg	104.7 ± 18.8 kg	1.15***	↑ < 0.01 (Significativo)
Chang et al. (2024)	GI ₁ : I-BFR	95.97 ± 35.73	106.42 ± 36.92	0.29*	↑ p < 0.001 (Significativo)
	GI ₂ : A-BFR	90.99 ± 24.79	104.78 ± 26.28	0.54**	↑ p < 0.001 (Significativo)
	GC: HL-RT	99.06 ± 22.90	111.79 ± 25.40	0.53**	↑ p < 0.001 (Significativo)

Yasuda et al. (2014)	GI: BFR-RT	53 ± 20	66 ± 27	0.55**	↑ p < 0.001 (significativo)
	GC:	61 ± 23	63 ± 24	0.09†	→p ≥ 0.05 (No significativo)

↓: Disminuye; →: Mantiene; ↑: incrementa, d: Tamaño del efecto Cohen; Interpretación †sin efecto (d <0,2), *pequeño (d =0.2 a 0,49), **intermedio (d =0.5 a 0,79), y ***grandes (d ≥)

6. DISCUSIÓN

Esta revisión tuvo como objetivo analizar los efectos que tiene el entrenamiento de resistencia con BFR sobre la fuerza y la masa muscular, considerando la presión aplicada en el manguito. Los principales hallazgos indican que el BFR asociado a entrenamiento con ejercicios de resistencia es una metodología efectiva para mejorar la fuerza muscular y, además, promover adaptaciones de hipertrofia muscular, especialmente cuando se aplican cargas bajas a moderadas combinadas con presiones de oclusión moderadas a altas.

En relación con la fuerza muscular del cuádriceps, los resultados de los estudios analizados sugieren que el entrenamiento con restricción asociado con BFR induce incrementos significativos en la fuerza máxima cuando se emplean protocolos de baja intensidad ($\approx 20\%$ de 1-RM), alcanzando tamaños del efecto moderados. No obstante, cuando el entrenamiento se realiza a intensidades moderadas, no se observa una influencia consistente de incrementos en el porcentaje de presión de oclusión arterial (%POA) sobre la magnitud de las adaptaciones en fuerza. [37,2,38]. Estos hallazgos concuerdan con la literatura previa, que ha descrito que el BFR permite alcanzar adaptaciones neuromusculares relevantes mediante la combinación de hipoxia local, acumulación de metabolitos y un mayor reclutamiento de unidades motoras de alto umbral, incluso con cargas significativamente inferiores a las utilizadas en el entrenamiento de fuerza tradicional [7, 15, 26]. En este contexto, el uso de presiones moderadas a altas parece ser particularmente relevante cuando las cargas mecánicas son bajas, ya que contribuye a potenciar el estrés metabólico necesario para inducir adaptaciones en fuerza.

En relación con la hipertrofia muscular, los estudios incluidos muestran que el BFR es capaz de inducir incrementos significativos en el tamaño muscular, especialmente cuando se aplican protocolos de baja intensidad. Lo que sugiere que el estímulo mecánico propio de cargas mayores podría compensar parcialmente el efecto de la restricción del flujo sanguíneo. Estos resultados son consistentes con evidencia previa que indica que la hipertrofia inducida por BFR depende del equilibrio entre carga externa, volumen de entrenamiento y presión aplicada de manera individualizada [11,1,2].

En poblaciones clínicas y de personas mayores, el BFR demostró ser una alternativa eficaz para mejorar la fuerza y preservar o aumentar la masa muscular en contextos donde el entrenamiento con cargas elevadas no es factible. Se observó que parte de las adaptaciones musculares inducidas por el BFR pueden mantenerse tras periodos de desentrenamiento, lo que sugiere un potencial beneficio a mediano plazo en poblaciones con limitaciones funcionales o períodos de inactividad [41,39].

En cuanto a la seguridad, los estudios analizados reportaron que el uso de presiones controladas y protocolos supervisados e individualizados, no se asoció a eventos adversos relevantes, lo que respalda el uso del BFR como una intervención segura cuando se aplica bajo criterios adecuados. No obstante, persiste una considerable heterogeneidad en la forma de determinar la presión de oclusión, utilizándose tanto valores absolutos como porcentajes de la oclusión arterial total, lo que dificulta la comparación directa entre estudios y limita la extrapolación clínica de los resultados [26,1].

En síntesis, los resultados de esta revisión respaldan el uso del entrenamiento de fuerza con restricción de flujo sanguíneo como una estrategia efectiva para mejorar la fuerza y la masa muscular, especialmente cuando se emplean con cargas bajas. Sin embargo, la intensidad del ejercicio y el volumen total de entrenamiento continúan siendo factores determinantes en la magnitud de las adaptaciones. La optimización y estandarización de los protocolos de BFR representa un desafío clave para futuras investigaciones y para su aplicación clínica y deportiva basada en evidencia.

En relación con los efectos adversos y las poblaciones que podrían beneficiarse en mayor medida del entrenamiento con BFR, los estudios analizados reportaron una baja incidencia de eventos adversos cuando los protocolos fueron aplicados de manera supervisada e individualizada. Dentro de los efectos descritos se incluyen principalmente molestias locales asociadas a la compresión del manguito, sensación de entumecimiento o parestesias transitorias, y en menor medida respuestas hemodinámicas como aumento de la frecuencia cardíaca o incomodidad durante el ejercicio. No obstante, la literatura advierte que el uso de presiones excesivas o mal dosificadas podría generar alteraciones más relevantes a nivel vascular, como estasis sanguínea, aumento del riesgo de trombosis o compromiso del flujo sanguíneo, así como irritación de estructuras nerviosas. En este contexto, la adecuada determinación

de la presión de oclusión resulta fundamental para garantizar la seguridad de la intervención. Por otra parte, los mayores beneficios del BFR se observaron en poblaciones clínicas, adultos mayores y sujetos con limitaciones para entrenar con altas cargas, en quienes la combinación de bajas intensidades de ejercicio con presiones moderadas permitió generar adaptaciones significativas en fuerza y masa muscular, sin exponerlos al estrés mecánico de los métodos tradicionales

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, aunque la búsqueda bibliográfica fue realizada de manera sistemática en dos bases de datos relevantes (PubMed y Web of Science), el número de estudios finalmente incluidos fue reducido (cinco en total). Esto limita la generalización de los hallazgos y no permite abarcar completamente toda la literatura disponible sobre entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

Además, los protocolos de entrenamiento y los rangos de presión utilizados en los estudios seleccionados presentan variabilidad en términos de intensidad, duración, localización del entrenamiento y forma de determinar la presión de oclusión (porcentaje de oclusión arterial total o valores absolutos en mmHg). Esta heterogeneidad dificulta la comparación directa entre estudios y refleja la falta de estandarización en los protocolos de BFR, lo cual constituye una brecha metodológica frecuente en la literatura actual.

Otra limitación relevante es la escasez de estudios que evalúen los efectos del BFR a largo plazo. La mayoría de los trabajos incluidos se centra en resultados a corto y mediano plazo, y solo uno de ellos incorpora un periodo de desentrenamiento, lo que deja abierta la pregunta sobre la sostenibilidad de las adaptaciones en fuerza y masa muscular a lo largo del tiempo y en diferentes contextos de aplicación.

Por último, aunque los estudios incluidos reportaron una buena seguridad de los protocolos utilizados y no describieron eventos adversos graves, ninguno justificó de manera detallada la elección del nivel de presión aplicado, ya sea en términos de %POA o mmHg. Esto subraya una brecha metodológica relacionada con la falta de criterios estandarizados para definir la presión óptima del manguito en función de la población, el tipo de ejercicio y los objetivos de la intervención.

A pesar de estas limitaciones, este trabajo aporta evidencia valiosa al sintetizar la información disponible sobre la efectividad del BFR según la presión utilizada y al resaltar la necesidad de avanzar hacia protocolos más estandarizados en futuras investigaciones. De acuerdo a lo anterior, proponemos este protocolo de utilización de entrenamiento con ejercicios de resistencia sumado a BFR para aumento de fuerza y masa muscular esquelética:

7. CONCLUSIÓN

La presente revisión permitió responder la pregunta de investigación respecto a lo que se conoce en la literatura sobre las diferencias del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (BFR) para el aumento de fuerza y masa muscular en función de la presión aplicada en el manguito. En conjunto, la evidencia disponible indica que el BFR es una estrategia eficaz para inducir adaptaciones musculares utilizando cargas bajas a moderadas, y que la presión de oclusión constituye un factor relevante en la magnitud de dichas adaptaciones.

Los estudios analizados sugieren que presiones moderadas a altas, generalmente entre el 60% y 80% de la oclusión arterial total, podrían asociarse con mayores incrementos en fuerza y masa muscular cuando el entrenamiento se realiza a baja intensidad. Sin embargo, esta relación se sustenta en base a un número limitado de estudios experimentales. En cambio, cuando se emplean intensidades moderadas de ejercicio, las diferencias atribuibles al nivel de presión tienden a disminuir, lo que sugiere que la carga mecánica del ejercicio puede atenuar el rol modulador de la presión de oclusión.

En términos de fuerza muscular, el entrenamiento convencional de alta intensidad continúa siendo el método más efectivo para maximizar las ganancias. No obstante, el BFR se posiciona como una alternativa válida y eficiente en contextos donde el uso de cargas elevadas no es factible, como en procesos de rehabilitación, adultos mayores o poblaciones con limitaciones funcionales. Además, los protocolos revisados demostraron ser seguros cuando fueron aplicados de forma supervisada y dentro de rangos de presión controlados.

Desde una perspectiva clínica y práctica, el uso de presiones moderadas-altas en el entrenamiento con BFR puede ser recomendado para promover adaptaciones musculares en situaciones específicas, especialmente cuando el objetivo es minimizar el estrés mecánico sobre el sistema musculoesquelético. Sin embargo, la ausencia de estandarización en la determinación de la presión de oclusión y la limitada cantidad de estudios que comparan directamente distintos niveles de presión constituyen una brecha relevante en la literatura actual.

En conclusión, si bien el BFR representa una herramienta efectiva y segura para mejorar la fuerza y la masa muscular, se requieren futuras investigaciones que permitan establecer criterios más precisos para la prescripción de la presión de oclusión, evaluar sus efectos a largo plazo y ampliar la evidencia en poblaciones diversas. Estos avances serán fundamentales para optimizar la aplicación del BFR y consolidar su uso basado en evidencia tanto en el ámbito clínico como deportivo.

Adicionalmente, a partir de los hallazgos obtenidos en esta revisión, se desarrolló una propuesta de protocolo de entrenamiento con BFR que integra las variables más consistentes reportadas en la literatura, particularmente en relación con el rango de presión de oclusión, la intensidad de carga y la frecuencia de entrenamiento. Este protocolo busca aportar una guía práctica basada en evidencia para la aplicación clínica y deportiva del BFR, contribuyendo a disminuir la variabilidad metodológica observada en los estudios y facilitando la toma de decisiones en contextos reales. Los detalles de esta propuesta, junto con la sistematización de los parámetros utilizados, pueden encontrarse en los ANEXOS 1 y 2. En este sentido, más que establecer una prescripción definitiva, esta propuesta se posiciona como un punto de partida fundamentado que debe ser continuamente validado y ajustado en función de nuevas investigaciones y de las características individuales de cada población.

8. REFERENCIAS

1. Scott BR, Peiffer JJ. Exercise with blood flow restriction: An updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Medicine*. 2015;45:313-325.
2. 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 Medicine*. 2019;49:95-108.
3. Rossi FE, Damas F, Lira FS, et al. The role of inflammation and immune cells in blood flow restriction training adaptation: A review. *Frontiers in Physiology*. 2018.
4. Vechin FC, Libardi CA, Conceição MS, et al. Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015;29:1071-1076.
5. Laurentino G, Ugrinowitsch C, Roschel H, et al. Effects of strength training and vascular occlusion. *International Journal of Sports Medicine*. 2008;29:664-667.
6. Kohl HW, Craig CL, Lambert EV, et al. The pandemic of physical inactivity: Global action for public health. *The Lancet*. 2012;380:294-305.
7. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, et al. Blood flow restriction pressure recommendations: The hormesis hypothesis. *Medical Hypotheses*. 2014;82:623-626.
8. Murray J, Bennett H, Boyle E, et al. Approaches to determining occlusion pressure for blood flow restricted exercise training: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*. 2021;39:663-672.
9. Bleda Andrés J, Ortiz J, et al. Efecto de la terapia por restricción de flujo sanguíneo en la práctica fisioterápica: Una revisión bibliográfica. *NPunto*. 2020;3:105-126.
10. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, et al. Low-intensity blood flow restriction training: A meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*. 2012.
11. Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, et al. Mechanisms of blood flow restriction: The new testament. *Wolters Kluwer*. 2018;72-79.
12. Ahumada-Tello J, Moreno-Collados C. Factors associated with sedentary lifestyle and physical inactivity in Chile: A qualitative systematic review. *Revista Médica de Chile*. 2020.
13. Mattocks KT, Jessee MB, Buckner SL, et al. The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses. *Physiology & Behavior*. 2017;181-186.
14. Hughes L, Patterson B, Haddad F, et al. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in ACL reconstruction patients and non-injured populations. *Physical Therapy in Sport*. 2018;54-61.
15. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*.

2018;48:361-378.

16. Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, et al. The cardiovascular and perceptual response to very low load blood flow restricted exercise. *International Journal of Sports Medicine*. 2017;38:597-603.
17. Clarkson MJ, May AK, Warmington SA. Is there rationale for the cuff pressures prescribed for blood flow restriction exercise? A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2020;30:1318-1336.
18. American College of Sports Medicine. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2009;41:687-708.
19. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, et al. Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after ACL reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*. 2020;48:825-937.
20. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Evans T, et al. Blood flow restriction training for athletes: A systematic review. *American Journal of Sports Medicine*. 2021;49:1938-1944.
21. Ministerio de Salud. Encuesta Nacional de Salud 2016-2017. Santiago, Chile; 2017.
22. Organización Mundial de la Salud. Global health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. OMS; 2009.
23. Organización Mundial de la Salud. Physical activity. WHO; 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
24. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, et al. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *Sports Medicine*. 2017;47:123-130.
25. Patterson SD, Hughes L, Head P, et al. Blood flow restriction exercise: Considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in Physiology*. 2019.
26. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine*. 2015;45:187-200.
27. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2009;37:78-85.
28. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, et al. Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity resistance exercise. *Acta Physiologica Hungarica*. 2013.
29. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*. 2000.
30. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, et al. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2000.
31. Lazcano-Ponce E, Salazar-Martínez E, Hernández-Ávila M. Ensayos clínicos aleatorizados: variantes, métodos de aleatorización, análisis, consideraciones éticas y regulación. *Salud Pública de México*. 2004.
32. da Cunha Nascimento D, Neto GR, et al. A useful blood flow restriction training risk stratification

- for exercise and rehabilitation. *Frontiers in Physiology*. 2022.
33. Chang H, Yang M, Chen B, Zhang J. Effects of blood flow restriction combined with low-intensity resistance training on lower-limb muscle strength and mass in post-middle-aged adults: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022.
 34. Sarkar M, Iyer V. COVID-19 and coagulopathy. *The Clinical Respiratory Journal*. 2021.
 35. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*. 2018.
 36. Noyes FR, Barber-Westin SD. Blood flow restriction training can improve peak torque strength in chronic atrophic postoperative quadriceps and hamstrings muscles. *Arthroscopy*. 2021.
 37. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Roschel H, et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*. 2015.
 38. Chang H, Yang X, Chen B, Zhang J. Effects of different blood flow restriction training modes on body composition and maximal strength of untrained individuals. *Life*. 2024;14(12):1666.
 39. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bemben MG. Effects of low-intensity blood flow restriction training on muscular strength and blood flow in older adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2008;11(2):124-128.
 40. Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, et al. Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity training on muscle size and strength in older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2014;27(4):475-482.
 41. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, et al. RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2019;366:l4898.
 42. Sterne JAC, Hernán MA, Reeves BC, et al. ROBINS-I: A tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ*. 2016;355:i4919.
 43. Cochrane Collaboration. Review Manager (RevMan) [Computer program]. Version 5.4. Copenhagen: The Nordic Cochrane Centre, The Cochrane Collaboration; 2020.
 44. Matthew J. Page, Jonathan A. C. Sterne, Ian Boutron, et al. Robvis: An R package and web app for visualising risk-of-bias assessments. *Res Synth Methods*. 2021;12(1):55–61.

ANEXOS

ANEXO 1. Propuesta de protocolo BFR + RT.

BFR + RESISTANCE TRAINING

PROTOCOLO CLÍNICO DE RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO

Entrenamiento con cargas bajas para adaptaciones de fuerza e hipertrofia.

RESUMEN CLÍNICO RÁPIDO

INTENSIDAD

20-30% 1RM

Estrés metabólico con baja carga

PRESIÓN

~80% Presión de Oclusión Arterial (POA)

Prescripción individualizada según POA

VOLUMEN

75 REPETICIONES

3-4 series (30-15-15-15 o 25-25-25)

FRECUENCIA

2-3 VECES/SEMANA

Duración mínima 6-12 semanas

DURACIÓN

≥6-12 SEMANAS

Cambios significativos en fuerza y masa muscular

ALGORITMO CLÍNICO

- SELECCIÓN DEL PACIENTE**

¿Incapaz de tolerar entrenamiento con cargas altas?

 - Dolor
 - Rehabilitación
 - Adulto mayor
 - Limitación funcional
- SCREENING DE RIESGO DE TROMBOSIS**

Evaluar factores de riesgo:

 - Antecedente de TVP/TEP
 - Uso de anticoagulantes
 - Hipertensión no controlada
 - Enfermedad vascular
 - Embarazo
 - Varices sintomáticas
 - Otros factores de riesgo

BAJO RIESGO
Proceder con BFR

ALTO RIESGO
Contraindicar o reevaluar
- CONFIGURACIÓN DEL PROTOCOLO**

Aplicar los parámetros recomendados

Carga Presión Series/Reps Descanso Oclusión
- MONITOREO Y SEGUIMIENTO**

Evaluar durante y después de la sesión:

 - Dolor, entumecimiento, mareos
 - Cambios cutáneos
 - Tolerancia hemodinámica
 - Adherencia y respuesta al programa

PARÁMETROS DEL PROTOCOLO

VARIABLE	RECOMENDACIÓN	JUSTIFICACIÓN
Población objetivo	Personas con condiciones clínicas que impidan usar cargas altas, adultos mayores, sujetos con limitación de carga	Alternativa eficaz cuando no se toleran cargas altas
Seguridad	Realizar screening "Evaluación de riesgo de trombosis" antes de aplicar BFR, considerando antecedentes de TVP/TEP, uso de anticoagulantes, hipertensión no controlada, enfermedad vascular, embarazo, varices sintomáticas y otros factores de riesgo.	Permite identificar sujetos con mayor riesgo, ajustar o contraindicar la aplicación del BFR y disminuir la probabilidad de eventos adversos.
Intensidad	20-30% 1RM	Permite generar adaptaciones de fuerza e hipertrofia con énfasis en el estrés metabólico
Tipo de prescripción de presión	Individualizada % de Presión de Oclusión Arterial (POA)	Reduce variabilidad interindividual y mejora la dosificación del estímulo
Presión del manguito	cercano al 80% de la Presión de Oclusión Arterial (POA)	Presiones altas aumentan el estrés metabólico, especialmente con cargas bajas
Series y repeticiones	3-4 series (ej: 30-15-15-15 o 25-25-25) = 75 reps	Alto volumen favorece acumulación de metabolitos
Descanso entre series	30-60 segundos	Mantiene hipoxia y estrés metabólico
Tiempo de oclusión	Continuo (5-10 min por bloque)	Favorece el entorno hipóxico necesario
Frecuencia semanal	2-3 veces por semana	Suficiente para inducir adaptaciones sin sobrecarga excesiva
Duración del programa	≥6-12 semanas	Necesario para cambios significativos en fuerza y masa muscular

ALERTAS IMPORTANTES

CONTRAINDICACIONES / PRECAUCIONES

- TVP/TEP aguda o reciente
- Hipertensión severa no controlada
- Enfermedad vascular periférica grave
- Embarazo
- Trastornos tromboticos
- Varices dolorosas o sintomáticas

RED FLAGS – SUSPENDER SESIÓN SI APARECE:

- Dolor desproporcionado
- Palidez marcada distal
- Cianosis
- Mareos intensos
- Parestesias persistentes
- Dolor torácico
- Disnea

NOTA CLÍNICA

La presión (POA) debe determinarse individualmente con una Ecografía Doppler y ajustarse al tamaño de la extremidad, tipo de manguito y tolerancia del paciente. Supervisar especialmente las primeras sesiones.

APLICACIONES CLÍNICAS

ADULTOS MAYORES

Mejora función muscular con baja carga mecánica.

REHABILITACIÓN

Útil en postoperatorios y condiciones dolorosas o que limitan el entrenamiento convencional.

HIPERTROFIA MUSCULAR

Adaptación muscular focalizada en estrés metabólico e hipóxia.

RENDIMIENTO DEPORTIVO

Complemento eficaz para mantener/ganar masa y fuerza con baja fatiga.

MONITOREO CLÍNICO DURANTE LA SESIÓN

Dolor

Escala 0-10

Color de piel

Normal (rosada)

Síntomas neurológicos

Ausentes

Tolerancia a la presión

Adecuada

Adherencia al programa

✓ Cumplimiento

Basado en la Tesis de Magister en Terapia Física con Mención en Rehabilitación Musculoesquelética, denominada: "Influencia de diferentes presiones de oclusión utilizadas durante el entrenamiento de resistencia con restricción de flujo sanguíneo sobre fuerza y masa muscular en extremidad inferior en población adulta", de la Universidad de La Frontera, 2024.

AUTORES:
Kigo. Mg. Francisco Poblete Barrientos
PROFESOR GUÍA:
Prof. Dr. Omar Andrade Mayorga

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA



EVALUACIÓN DE RIESGO TROMBÓTICO PARA APLICACIÓN SEGURA DE BFR

Algoritmo clínico rápido para estratificar riesgo de TVP



RESUMEN RÁPIDO – PUNTAJE TOTAL Y DECISIÓN CLÍNICA

0-1 PUNTOS

BAJO RIESGO

BFR estándar
Protocolo normal y supervisión

2 PUNTOS

RIESGO MODERADO

Aplicar con cautela
Presión individualizada y monitoreo

3-4 PUNTOS

ALTO RIESGO

No aplicar BFR de entrada; requiere criterio clínico / derivación médica

≥ 5 PUNTOS

RIESGO MÁXIMO

No recomendable aplicar BFR sin autorización médica

ALGORITMO DE DECISIÓN CLÍNICA

1

EVALUAR factores de riesgo (ver tabla inferior)

→

2

CALCULAR puntaje total (sumar puntos)

→

3

ESTRATIFICAR riesgo de TVP

→

4

TOMAR DECISIÓN clínica sobre BFR y monitoreo

REGLA GENERAL

Cada factor de riesgo suma puntos según su categoría. El puntaje total determina el nivel de riesgo y la decisión clínica.

1 PUNTO

FACTORES DE RIESGO MENOR

Función pulmonar anormal (EPOC)

Infarto agudo de miocardio

Edad entre 41 y 59 años

Transfusiones de sangre

Quimioterapia

Insuficiencia cardíaca congestiva (<1 mes)

Diabetes que requiere insulina

Enfermedad inflamatoria intestinal

Cirugía mayor previa (<1 mes)

Cirugía > 2 horas

Paciente médico en reposo en cama

Cirugía menor planificada

IMC > 25-39

Enfermedad pulmonar obstructiva

Sepsis (<1 mes)

Enfermedad pulmonar grave, incluida neumonía (<1 mes)

Tabaquismo

Piernas hinchadas (actualmente)

Varices

Otros factores de riesgo: Facilidad para hematomas, ej.: trastorno plaquetario

2 PUNTOS

FACTORES DE RIESGO MODERADO

Edad 60-74 años

Cirugía artroscópica

IMC > 40

Acceso venoso central

Yeso inmovilizado (<1 mes)

Cirugía laparoscópica (>45 min)

Cirugía mayor (>45 min)

Neoplasia maligna (presente o previa)

Paciente confinado a la cama (>72 h)

3 PUNTOS

FACTORES DE ALTO RIESGO

Edad > 75 años

Trombofilia congénita o adquirida

Anticuerpos anticardiolipina elevados

Homocisteína sérica elevada

Antecedentes familiares de trombosis

Trombocitopenia inducida por heparina

Antecedentes de TVP/EP

Factor V Leiden positivo

Anticoagulante lúpico positivo

Protrombina 20210A positiva

Si la respuesta es sí:
Tipo: _____

5 PUNTOS

RIESGO TROMBÓTICO MUY ALTO

Edad > 75 años

Trombofilia congénita o adquirida

Anticuerpos anticardiolipina elevados

Homocisteína sérica elevada

Antecedentes familiares de trombosis

Trombocitopenia inducida por heparina

Antecedentes de TVP/EP

Factor V Leiden positivo

Anticoagulante lúpico positivo

Protrombina 20210A positiva

Si la respuesta es sí:
Tipo: _____

SOLO PARA MUJERES (Cada una suma 1 PUNTO)

Antecedentes de muerte fetal inexplicable, aborto espontáneo recurrente (≥3), parto prematuro con toxemia o lactante con restricción del crecimiento

Anticonceptivos orales o terapia de reemplazo hormonal

Embarazo o posparto (<1 mes)

Otros factores obstétricos de riesgo trombótico

ALERTAS CLÍNICAS – RED FLAGS

TVP o embolia pulmonar activa

Trombofilia conocida de alto riesgo

Inmovilización prolongada reciente

Neoplasia activa con alto riesgo trombótico

Cirugía mayor reciente con complicaciones

Edema unilateral no explicado

Dolor torácico o disnea reciente

Uso de anticoagulantes

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

Realizar screening sistemático en todos los pacientes.

Registrar puntaje total en la historia clínica.

Individualizar la presión de oclusión arterial (POA).

Monitorear síntomas durante y después del BFR.

Suspender BFR ante dolor desproporcionado, cambios de coloración, parestesias o disnea.

Reevaluar riesgos dinámicos periódicamente.

MONITORIZAR DURANTE BFR

Dolor excesivo

Edema importante

Cambios de coloración

Parestesias

Disnea

Mareos / síncope

NOTA IMPORTANTE

Esta herramienta no reemplaza el juicio clínico. Ante duda, consulte o derive al especialista.

BFR: Blood Flow Restriction | TVP: Trombosis Venosa Profunda | POA: Presión de Oclusión Arterial

39