

Entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo en la fuerza y área transversal del cuádriceps en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior

Blood flow restriction training on quadriceps strength and cross-sectional area in patients with anterior cruciate ligament reconstruction

Luis Eduardo Maroto Amán¹ (lmaroto1309@uta.edu.ec) (<https://orcid.org/0009-0002-2727-512X>)

María Narciza Cedeño Zamora² (mariancedeno@uta.edu.ec) (<https://orcid.org/0000-0002-4208-8990>)

Resumen

El ligamento cruzado anterior (LCA) uno de los tejidos más importantes que ayudan a estabilizar la rodilla, sin embargo, representa con mayor prevalencia más de la mitad de todas las lesiones sufridas en un entorno deportivo, siendo un reto muy importante en la recuperación. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es identificar artículos que aborden el uso del BFR en la fisioterapia como tratamiento para mejorar la fuerza y área transversal del cuádriceps en pacientes con reconstrucción del LCA y determinar su efectividad. Se realizó la búsqueda desde el 05 al 16 de septiembre del 2024 en las principales bases de datos PubMed y ScienceDirect y se valoró la metodología mediante la escala AMSTAR-2 quedando 8 artículos seleccionados para esta revisión. El BFR-E aumenta la fuerza muscular, reduce significativamente los déficits de fuerza en la extensión isocinética de la rodilla, mejora la resistencia y la función musculares, aumenta el tamaño muscular del cuádriceps y atenúa las pérdidas de fuerza isocinética concéntrica después de la cirugía y la rehabilitación. Los hallazgos sugieren que el BFR es una herramienta valiosa para la rehabilitación después de la reconstrucción del LCA, sin embargo, los resultados pueden variar dependiendo del protocolo de ejercicios.

Abstract

¹ Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

² Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

The anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most important tissues that help stabilize the knee, however, it represents more than half of all injuries sustained in a sports environment, being a very important challenge in recovery. Therefore, the objective of this review is to identify articles that address the use of BFR in physiotherapy as a treatment to improve quadriceps strength and cross-sectional area in patients with ACL reconstruction and to determine its effectiveness. The search was carried out from September 5 to 16, 2024 in the main databases PubMed and ScienceDirect and the methodology was assessed using the AMSTAR-2 scale, leaving 8 articles selected for this review. BFR-E increases muscle strength, significantly reduces strength deficits in isokinetic knee extension, improves muscle endurance and function, increases quadriceps muscle size, and attenuates concentric isokinetic strength losses after surgery and rehabilitation. Findings suggest that BFR is a valuable tool for rehabilitation after ACL reconstruction, however, outcomes may vary depending on the exercise protocol.

Palabras clave: ACL-R, BFR-E, área transversal, fuerza, cuádriceps

Keywords: ACL-R, BFR-E, transverse area, strength, quadriceps

Introducción

La articulación de la rodilla es una de las estructuras con mayor riesgo de sufrir lesiones bajo cargas de alto impacto relacionadas con las actividades deportivas (Koh et al., 2024), siendo el ligamento cruzado anterior (LCA) uno de los tejidos más importantes que ayudan a estabilizarla (Luzo et al., 2016). Sin embargo, representa con mayor prevalencia más de la mitad de todas las lesiones sufridas en un entorno de competición (Chia et al., 2022) estimando alrededor de 68,6 por cada 100.000 personas-año que experimentan este tipo de lesiones a nivel general (Sanders et al., 2016) pero con mayor incidencia el sexo femenino (Chia et al., 2022; Stojanović et al., 2023). Por lo tanto, la clínica menciona que después de una reconstrucción de LCA es fundamental trabajar la funcionalidad, fuerza y calidad muscular del cuádriceps para prevenir riesgos de una nueva lesión y daños en la articulación de la rodilla a largo plazo (Birchmeier et al., 2020).

Es necesario conocer que las lesiones del LCA se producen por mecanismos de contacto y sin contacto, las alteraciones biomecánicas que contribuyen a la lesión son: la mala estabilidad del núcleo, el aterrizaje con apoyo del talón, la débil fuerza de abducción de la cadera y el aumento del valgo de la rodilla pueden contribuir a un mayor riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) en atletas jóvenes (Larwa et al., 2021).

Una vez entendido su mecanismo de lesión, es más sencillo identificar los protocolos de tratamiento después de una reconstrucción de LCA, sin embargo, el fortalecer y aumentar el área transversal del cuádriceps sigue siendo un reto muy importante, debido a que al estar retraída la acción propia del músculo y al existir una contracción alterada se genera una inhibición muscular artrogénica (IMA) (Sonnery-Cottet et al., 2019). Además, la IMA causa pérdida de fuerza muscular del cuádriceps hasta los 12 meses después de la ruptura de LCA, alterando la biomecánica de la rodilla debido a la inmovilización. Por tal razón, el tratamiento debería estar enfocado en contrarrestar la inhibición del cuádriceps artrogénico (Dauty et al., 2022).

Existen métodos fisioterapéuticos que pueden ayudar a conservar la fuerza y área transversal del cuádriceps, tal como la estimulación eléctrica neuromuscular siendo un viejo método conocido que a resultado eficaz cuando se utiliza de forma independiente y en combinación con ejercicios de rehabilitación, pero que tiene efectos a corto y mediano plazo (Glattke et al., 2022). No obstante, en la actualidad el entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo (BFR-E) a tomando suma importancia en la práctica clínica, ayudando a disminuir la pérdida muscular y ósea hasta 12 semanas después de la operación y puede mejorar el tiempo hasta la recuperación de la articulación con resultados funcionales comparables a los de la rehabilitación estándar teniendo resultados a mediano y largo plazo (Ra et al., 2023).

Su aplicación puede tener efectos muy beneficios porque cumple funciones como la reducción de la tensión ejercida sobre las articulaciones sin comprometer las mejoras en la fuerza, formaliza las pautas de rehabilitación y la exploración de la fisiología; en relación a sus diversas aplicaciones puede ayudar a optimizar su efecto y prescripción a nivel del dolor, funcionalidad

(Cognetti et al., 2022), hipertrofia y la fuerza muscular distal tradicional y sin inconvenientes significativos para el individuo (Miller et al., 2021).

Esta revisión sistemática, tiene como objetivo identificar artículos que aborden el uso del BFR en la fisioterapia como tratamiento para mejorar la fuerza y área transversal del cuádriceps en pacientes con reconstrucción del LCA y determinar su efectividad, Además, se analizará la evidencia científica disponible y proporcionaremos una perspectiva clara sobre este tratamiento fisioterapéutico que ayudará a ganar fuerza y masa muscular en el cuádriceps del deportista.

Metodología

Materiales y métodos

Tipo y Estrategia de búsqueda

Este estudio se presenta como una revisión sistemática a través de revisiones previas. Se realizó la búsqueda desde el 05 al 16 de septiembre del 2024 en las principales bases de datos en línea: PubMed y ScienceDirect. Además, se utilizó palabras clave: “ACL Reconstruction”, “Physiotherapy”, “Blood flow restriction”, “quadriceps cross sectional área” y “quadriceps strength” en combinación de marcadores booleanos como OR, NOT y AND.

Criterios de selección y valoración del estudio

Los criterios de inclusión incluyeron: publicaciones de revisiones sistemáticas en idioma inglés que incluyeran las variables de restricción del flujo sanguíneo, fuerza, atrofia y circunferencia del cuádriceps después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Además, se priorizó artículos de los últimos 5 años con acceso completo a los textos de forma gratuita. Los criterios de exclusión fueron: artículos <2020, estudios de casos, ensayos clínicos, ensayos controlados aleatorios (ECA), estudios retrospectivos, tratamientos médicos y farmacológicos, libros, guías de práctica clínica, manuales y otro idioma que no sea inglés.

Recepción:15-08-2024 / Revisión:25-08-2024 / Aprobación:10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

Siguiendo las directrices de la declaración del método “Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses” (PRISMA)(Page et al., 2021), se identificó un total de 48 artículos. En conjunto de otro autor, se examinó los títulos de búsqueda inicial en la base de datos para determinar su relevancia con respecto al tema y se aplicó los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente para llegar a un consenso de selección y se evaluó la lista final para garantizar el acuerdo entre los autores. Se seleccionaron 10 fuentes bibliográficas, sin embargo, al evaluar la calidad metodológica mediante la escala de evidencia “Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews 2” (AMSTAR 2), se excluyeron 2. Finalmente, se analizarán 8 artículos. El diagrama de flujo de selección de estudios se muestra en la **figura 1**.

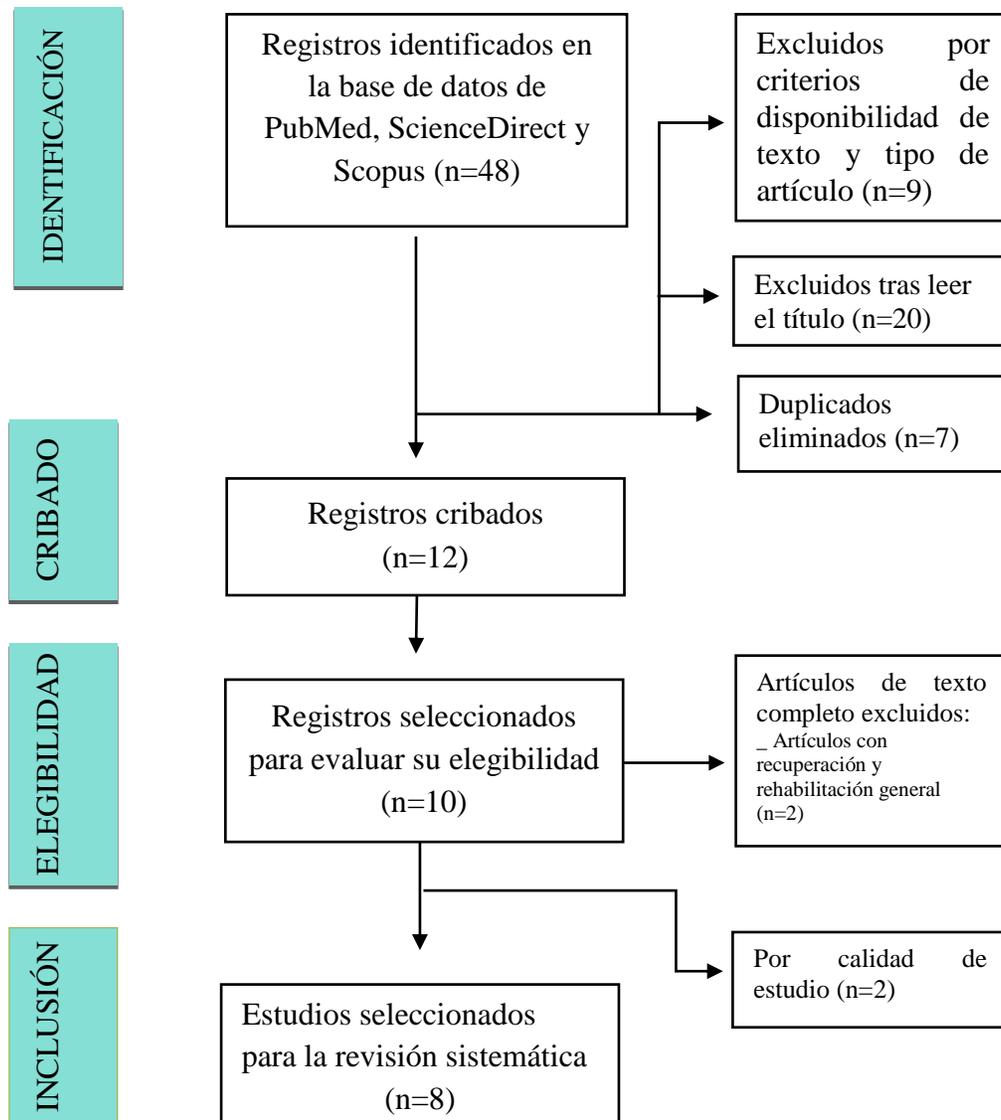


Figure 1 Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de artículos.

Para la elección de artículos en la base de datos PubMed se utilizaron los siguientes filtros: tipos de artículos (revisión sistemática), disponibilidad de texto (texto completo, texto completo gratis), tiempo de publicación (últimos 5 años), idioma (inglés). Se utilizaron los siguientes términos claves y marcadores booleanos: ((ACL) AND (Blood flow restriction)), ((ACL) AND (Blood flow restriction) OR (Physiotherapy)) y (ACL) AND (Blood flow restriction) NOT (Pharmacology)), dándonos como resultado 36 fuentes de información. Se eliminaron los siguientes artículos: elementos duplicados (4), tras leer el título (13), mediante criterios de exclusión (7) y disponibilidad de texto y tipo de artículo (5), quedando disponibles 7 artículos.

En ScienceDirect se utilizaron siguientes filtros artículos de revisión, artículos de investigación, Open Access y Open archive, realizados en los últimos 5 años con el idioma inglés. Se utilizaron los siguientes términos y buscadores booleanos: ((Physical Therapy) OR (Blood flow restriction) AND (ACL)) y (ACLR) AND (Blood flow restriction)), dándonos un resultado de 12 artículos, de los cuales se excluyeron 3 por duplicados de la base de datos PubMed, 7 tras leer el título, mediante los criterios de exclusión se eliminaron 2 artículos, quedando 1 artículo para revisión.

Valoración de la calidad metodológica

La escala *Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews 2* (AMSTAR 2) evalúa la calidad metodológica de las revisiones sistemáticas, consta de 16 criterios que se utilizan para evaluar diversos aspectos, con un dominio crítico de 7 criterios (Ciapponi, 2018) **Figura 2**, como la formulación de la pregunta de investigación, la estrategia de búsqueda, la selección de estudios, la evaluación de la calidad de los estudios incluidos, la síntesis de resultados y la evaluación del sesgo. Además, es una herramienta que ayuda a determinar la confiabilidad de los resultados con 4 niveles de confianza: Alta, moderada, baja y críticamente baja (Shea et al., 2017).

Recepción:15-08-2024 / Revisión:25-08-2024 / Aprobación:10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

1. Protocolo registrado antes de la revisión (ítem 2).
2. Adecuada búsqueda en la literatura (ítem 4).
3. Justificación de los estudios excluidos (ítem 7).
4. Riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos (ítem 9).
5. Métodos meta-analíticos apropiados (ítem 11).
6. Consideración del riesgo de sesgo en la interpretación de los resultados de la revisión (ítem 13).
7. Evaluación de la presencia y el impacto probable del sesgo de publicación (ítem 15).

Figure 2. Dominios críticos de la herramienta AMSTAR-2

La información de los artículos seleccionados, que se presentan en la **tabla 2**, se evaluó la calidad de la evidencia utilizando la escala de AMSTAR 2. De los 10 artículos revisados, ((Koc et al., 2022), (Colapietro et al., 2023), (Frac-Fernández et al., 2024)) proporcionaron un nivel de confianza alto. ((Bobes Álvarez et al., 2020), (Lu et al., 2020), (Colombo et al., 2024), (Charles et al., 2020), (Centner et al., 2020)) fueron moderados y ((Johnston et al., 2021), (Butt & Ahmed, 2024)) obtuvieron un nivel de confianza bajo, por lo tanto estos fueron excluidos para nuestra revisión. Finalmente, se hizo uso de 8 artículos para esta revisión.

Tabla 4. Dieciséis ítems basados en la Tabla Amstar 2 (Ciapponi, 2018).

TABLA AMSTAR 2

| Dieciséis ítems basados en la Tabla AMSTAR 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------------|
| AUTORES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | Nivel de confianza |
| Bobes Álvarez C y cols. (Bobes Álvarez et al., 2020) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | M | M | S | S | M | S | Moderado |
| Koc BB y cols. (Koc et al., 2022) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | Alto |
| Lu Y y cols. (Lu et al., 2020) | S | S | S | S | S | S | S | S | SP | S | M | M | S | S | M | S | Moderado |
| Colapietro M y cols. (Colapietro et al., 2023) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | Alto |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|----|-------|---|---------------------|---|---|----|--------------------|----|---|----|----|----|---|----|---|----------|
| Colombo V y cols. (Colombo et al., 2024) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | SP | S | M | M | S | S | M | S | Moderado |
| Charles D y cols. (Charles et al., 2020) | S | SP | S | S | S | S | S | S | S | S | S | M | M | S | S | M | S | Moderado |
| Centner C y cols. (Centner et al., 2020) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | M | M | S | S | M | S | Moderado |
| Fracas-Fernández E y cols. (Fracas-Fernández et al., 2024) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | Alto |
| Johnston PT y cols. (Johnston et al., 2021) | S | S | S | N | N | S | N | S | S | S | S | N | SP | SP | S | SP | S | Bajo |
| Butt J y cols. (Butt & Ahmed, 2024) | S | S | N | S | N | N | S | SP | SP | SP | N | SP | S | S | N | S | S | Bajo |
| | S: SI | | N: NO | | SP: Si parcialmente | | | | N: No metaanálisis | | | | | | | | | |

RESULTADOS

Clasificación y representación de los artículos

Los datos extraídos de los artículos incluidos para un análisis adicional incluyeron información general (autores, objetivos, resultados y conclusiones) (**Tabla 1**), características específicas de los estudios (Tipo de intervención pre y post, duración, sesiones, evaluaciones, carga del 1RM, presión de los maguitos y área de uso). Cuando fue posible, los resultados se categorizaron con relación a la fuerza y área transversal del cuádriceps en base a la intervención aplicada (**Tabla 2**).

De los 8 artículos seleccionados, todos fueron revisiones sistemáticas. Estos abordaron el BFR-E en la fisioterapia como tratamiento para mejorar la fuerza y área transversal del cuádriceps en pacientes con reconstrucción del LCA (Bobes Álvarez et al., 2020), (Koc et al., 2022), (Lu et al.,

2020), (Colapietro et al., 2023), (Colombo et al., 2024), (Charles et al., 2020), (Centner et al., 2020), (Fracca-Fernández et al., 2024).

Características del estudio

Métodos de evaluación

Los diferentes métodos de evaluación para la fuerza del cuádriceps después de una reconstrucción de LCA que encontraron cada autor en su revisión sistemática fueron: Fuerza isocinética, isotónica y contracción isométrica máxima (Bobes Álvarez et al., 2020), repeticiones máximas (RM), contracción isocinética y contracción isométrica (Koc et al., 2022), torque de contracción isométrica volitiva máxima y relación de torque muscular (Lu et al., 2020), prensa de pierna unilaterales de 10RM y dinamometría isocinética e isométrica (Colapietro et al., 2023) y dinamometría de la fuerza isométrica extensora de la rodilla, la fuerza isocinética de los extensores de la rodilla a 60°/s y la fuerza isocinética de los flexores de la rodilla a 60°/s (Fracca-Fernández et al., 2024). En relación al CSA, utilizaron estudios imagenológicos como: Tomografía computarizada (Bobes Álvarez et al., 2020), (Charles et al., 2020), resonancia magnética (Bobes Álvarez et al., 2020), (Koc et al., 2022), (Lu et al., 2020), (Colapietro et al., 2023), (Colombo et al., 2024), (Centner et al., 2020), (Fracca-Fernández et al., 2024), ultrasonido (Koc et al., 2022), (Colombo et al., 2024), (Centner et al., 2020), ecografía (Colapietro et al., 2023), electromiografía y medición del diámetro del cuádriceps (Lu et al., 2020), (Colombo et al., 2024) para medir el área de sección transversal (CSA).

Tipo de entrenamiento y carga

Los ocho autores han investigado el efecto del entrenamiento con BFR en combinación con diversos tipos de ejercicio, comparándolo con grupos control que realizaron solo el ejercicio sin BFR. Los entrenamientos utilizados fueron: Entrenamiento de resistencia progresiva (Bobes Álvarez et al., 2020), (Koc et al., 2022) (Colombo et al., 2024), (Charles et al., 2020), (Fracca-



Recepción:15-08-2024 / Revisión:25-08-2024 / Aprobación:10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

Fernández et al., 2024), Ejercicio de resistencia/aeróbico progresivo (Lu et al., 2020), Entrenamiento con contracciones excéntricas y concéntricas (Colapietro et al., 2023) y un programa de rehabilitación estandarizado (Centner et al., 2020).

Recepción:15-08-2024 / Revisión:25-08-2024 / Aprobación:10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

Tabla 1. Resultados Generales

| AUTOR/AÑO | OBJETIVO | MÉTODOS | RESULTADOS | | CONCLUSIONES |
|---|---|---|---|--|--|
| | | | ÁREA TRANSVERSAL | FUERZA | |
| Bobes Álvarez C y cols. (Bobes Álvarez et al., 2020) | Analizar su efecto sobre las ganancias de fuerza, el área transversal del cuádriceps (ASC), la intensidad del dolor y la funcionalidad y/o calidad de vida. en pacientes con reconstrucción del LCA. | Web of Science, PEDro, Scopus, MEDLINE, Dialnet, CINAHL y The Cochrane Library. | Después de la semana 16, hubo un aumento estadístico significativo en el CSA de los músculos extensores de la rodilla en el grupo BFR en comparación con el grupo CG ($p < 0,05$) / BFR (+7%, tamaño del efecto (ES) = 0,39, $p < 0,0001$). | Después de 12 semanas, se observó un aumento significativo de la fuerza en la fuerza isotónica y el 1MR aumentó significativamente en el grupo BFR en comparación con el grupo control. | El entrenamiento BFR podría proporcionar beneficios similares al entrenamiento de alta intensidad, sin el detrimento de este tipo de trabajo, y con las ventajas del entrenamiento de baja intensidad, mejorando la fuerza muscular y el CSA de manera similar al entrenamiento de alta intensidad. |
| Koc BB y cols. (Koc et al., 2022) | Investigar el efecto del entrenamiento LL-BFR sobre la fuerza del cuádriceps, la masa del cuádriceps, el dolor en la articulación de la rodilla y la laxitud del injerto del ligamento cruzado anterior (LCA) después de la reconstrucción del LCA en comparación con el entrenamiento sin BFR. | PubMed, EMBASE.com, Cochrane Library/Wiley, CINAHL/Ebsco y Web of Science/Clarivate Analytics | El entrenamiento LL-BFR fue más beneficioso en el área transversal del cuádriceps (CSA) en comparación con el entrenamiento sin BFR. Se recomienda duraciones de entrenamiento de 6 a 12 semanas y el uso de presiones LL-BFR personalizadas (80 % de la presión de oclusión de la extremidad [LOP]) para lograr fuerza muscular e hipertrofia. | Efectos similares y mayores en la fuerza del cuádriceps después del entrenamiento LL-BFR en comparación con el entrenamiento sin BFR, además demostraron menores déficits de fuerza del cuádriceps después del entrenamiento LL-BFR a comparación del no LL-BFR. | BFR de LL después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) puede ser beneficioso para la fuerza y la masa del cuádriceps y el dolor en la articulación de la rodilla en comparación con el entrenamiento sin BFR, sin efectos perjudiciales sobre la laxitud del injerto del LCA. |
| Lu Y y cols. (Lu et al., 2020) | Comparar la efectividad del entrenamiento BFR de baja carga junto con un protocolo de rehabilitación estándar, antes y después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. | MEDLINE, CINAHL y EMBASE | Aumento significativo en la resistencia isométrica muscular ($P = .014$) en comparación con los pacientes sometidos a BFR simulado | Aumento significativo en la electromiografía de superficie del vasto medial ($P < .001$), y flujo sanguíneo muscular al vasto lateral en el seguimiento final ($P < .001$) en comparación con los pacientes sometidos a BFR simulado. | La rehabilitación con BFR después de una RLCA es escasa y heterogénea. Autores han demostrado los posibles beneficios de la BFR perioperatoria en términos de fuerza e hipertrofia, pero se requieren investigaciones futuras con resultados estandarizados, seguimiento a largo plazo y tamaños de muestra más sólidos para extraer conclusiones más definitivas. |
| Colapietro M y cols. (Colapietro et al., 2023) | Compara los efectos del entrenamiento BFR con la terapia convencional sobre las propiedades morfológicas y de fuerza de los músculos de la rodilla en pacientes con reconstrucción de LCA. | PubMed, SPORTDiscus, CINAHL y Cochrane Central Register | Sin diferencias informadas en la masa muscular media, con un aumento del 7,22 % después del entrenamiento de alta intensidad de carga y el entrenamiento BFR combinados entre las 2 intervenciones (diferencia media de ES = 0,10 ± 0,10 [-0,10 a | Las mediciones de fuerza muscular informadas, solo la fuerza isocinética extensora de la rodilla a 60 grados/s, 150 grados/s y 300 grados/s y la fuerza isocinética flexora de la rodilla a 60 grados/s, 150 | No se indicaron diferencias clínicamente significativas consistentes en comparación con la terapia convencional que respalda el uso del entrenamiento con RFS para mejorar o mantener el tamaño de los músculos del muslo, así como la fuerza extensora y flexora |

Recepción: 15-08-2024 / Revisión: 25-08-2024 / Aprobación: 10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

| | | | | | |
|---|--|--|---|---|---|
| | | | 0,30]). | grados/s y 300 grados/s en el estudio fueron clínicamente significativas. | de la rodilla |
| Colombo V y cols. (Colombo et al., 2024) | Revisar los resultados después de una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) y la reconstrucción posterior en estudios que comparan la rehabilitación con y sin BFR-t. | MEDLINE, Embase, SPORTDiscus y CINAHL. | El grupo BFR-t mostró mejoras similares en la fuerza muscular y se atenuó las pérdidas de fuerza isocinética concéntrica desde antes de la cirugía hasta después del entrenamiento (8 semanas después de la cirugía) más que el entrenamiento de resistencia con carga pesada. | La pérdida de CSA del cuádriceps (~13 %) tanto en el grupo BFR-t como en el grupo sin BFR-t a los 14 días después de la RLC, sin diferencias significativas entre los grupos, sin embargo, a la semana 12 las mejora en las puntuaciones fue mayor en el grupo BFR-t. | La terapia con BFR-t después de una lesión del ligamento cruzado anterior parece beneficiar la fuerza muscular, el tamaño muscular y las puntuaciones de PROM en comparación con la rehabilitación estándar sola. Sin embargo, solo un estudio de gran tamaño incluyó todos estos resultados, que aún no se ha replicado en otros entornos. |
| Charles D y cols. (Charles et al., 2020) | Analizar la investigación presentada sobre el efecto del entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo sobre la atrofia y la circunferencia del músculo cuádriceps después de la reconstrucción de LCA. | Google Scholar, PubMed y EBSCO | En la escala GRADE, tres de los cuatro estudios mostraron una disminución en la atrofia muscular posquirúrgica con el uso de BFR combinado con LIRT. A. La RM reveló un aumento estadísticamente significativo a la semana 2-16 del área transversal del extensor de la rodilla en el grupo experimental. | La fuerza de los cuatro estudios fue moderada a la semana 16 después de realizar el protocolo de BFR y ejercicios de LIRT cuando se evaluó mediante la escala GRADE. | Los resultados son prometedores con respecto al uso de BFR y LIRT en la corrección de la fuerza y atrofia del músculo cuádriceps y femoral después de una reconstrucción de LCA. Es necesario realizar más investigaciones antes de poder recomendar el uso de BFR en entornos clínicos. |
| Centner C y cols. (Centner et al., 2020) | Investigar sistemáticamente los efectos del entrenamiento NI-BFR en la estructura y función muscular en pacientes con reconstrucción de LCA y osteoartritis de rodilla. | PubMed, Web of Science and ScienceDirect. | El entrenamiento NI-BFR reduce la pérdida de fuerza más que el entrenamiento de fuerza de alta intensidad, esto por lo complejo de agregar cargas a corto y mediano plazo. | Durante un tiempo de 16 semanas, el entrenamiento NI-BFR es una estrategia eficaz en la rehabilitación para mejorar el resultado funcional (fuerza y función muscular) y optimizar el proceso de rehabilitación con poca carga de peso en los extensores de la rodilla. | El BFR es una nueva estrategia de rehabilitación para la reconstrucción del LCA. Hay efectos positivos en la estructura muscular como la funcionalidad. Se puede realizar como método alternativo o complemento al entrenamiento de fuerza convencional, pero es necesario desarrollar un concepto adaptado al paciente para garantizar la seguridad. |
| Fraca-Fernández E y cols. (Fraca-Fernández et al., 2024) | Examinar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) sobre la fuerza muscular, el área transversal y la función relacionada con la rodilla en pacientes seleccionados para la reconstrucción de LCA. | PubMed, PEDro, Cochrane Library, Web of Science, SCOPUS y ProQuest | Se observaron diferencias medias estandarizadas a favor del entrenamiento BFR aplicado postoperatoriamente en la fuerza isocinética extensora de rodilla (SMD = 0,79; IC del 95% = 0,06 a 1,52; I ² : 68%) y flexora (SMD = 0,53; IC del 95% = 0,04 a 1,01; I ² : 0%), | Se observaron diferencias medias estandarizadas a favor del entrenamiento BFR aplicado postoperatoriamente en el área transversal del cuádriceps (SMD = 0,76; IC del 95% = 0,27 a 1,26; I ² : 0%). | Los resultados de esta revisión sistemática con metanálisis arrojaron un grado muy bajo de certeza que sugiere que el entrenamiento con BFR proporciona beneficios adicionales en comparación con el mismo entrenamiento sin restricciones en la fuerza isocinética de los extensores y flexores de la rodilla |



Entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo en la fuerza y área transversal del cuádriceps en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior

Luis Eduardo Maroto Amán
María Narciza Cedeño Zamora



Volumen: 7
Nº. Especial 7
Año: 2024

Recensión: 15-08-2024 / Revisión: 25-08-2024 / Aprobación: 10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

a 60°/s, y el área transversal del cuádriceps.

LIRT: entrenamiento de resistencia de baja

intensidad; **RM:** resonancia magnética; **BFR:** restricción del flujo sanguíneo

Recepción:15-08-2024 / Revisión:25-08-2024 / Aprobación:10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

Tabla 2. Características específicas de los estudios seleccionados

| AUTOR/AÑO | Tipo de intervención | Intervención | Duración/ sesiones | Evaluaciones | Carga del 1RM | Presión de los manguitos | Área de uso |
|---|--|--------------|---|---|--|---|------------------------------|
| Bobes Álvarez C y cols. (Bobes Álvarez et al., 2020) | GE: Combinado de (BFR+ejercicio de resistencia progresiva). GC: Ejercicio de resistencia progresiva. | Post | DA: 3 semanas, 16 días, 10 días. D: Dos semanas, ocho semanas y 16 semanas S: no especificado | F: 1RM prensa de piernas y extensión de rodilla, Flsc, Flst, CImáx. CSA: TC | 20% - 30% carga baja; 70% -80% carga alta | (110–186 mmHg); 130–180 mmHg (primer día 130 mmHg. Aumento de 10 mmHg cada dos días hasta alcanzar 180 mmHg); 180 mmHg. | Zona proximal del muslo |
| Koc BB y cols. (Koc et al., 2022) | GE: Combinado de (BFR+entrenamiento de fuerza progresiva). GC: Ejercicio de fuerza. | Pre – Post | S: 16, 22, 24, 84 D: 11 días -14 semanas DA: 2 semanas, 12 días, 5 días | F: 1RM, Flsc 60°/150°/180°/300° sobre segundos, CImáx. CSA: RM, US. | 30% de 1RM, 80% del 1RM | 148 -238 mmHg; 140 - 160 mmHg, 180 - 240 mmHg. | Zona proximal del muslo |
| Lu Y y cols. (Lu et al., 2020) | GE: Combinado de (BFR+ejercicio de resistencia/aeróbico progresivo) GC: Ejercicio de resistencia/aeróbico progresivo. | Pre – Post | DA: 10 -21 días, 2 semanas D: 1 día (respuestas perceptivas y hemodinámicas agudas) a 16 semanas. S: 5, 22, 24, 84. | F: TCIVmáx flexores y extensores de rodilla, EMG del vasto medial CSA: Cm, RM, | peso corporal - 30% de 1RM | 130 a 238 mmHg. | Zona proximal del muslo |
| Colapietro M y cols. (Colapietro et al., 2023) | GE: BRF+ ECCA, ECCC GC: ECCA+ECCC | Pre – Post | DA: 10 semanas; 3 -23 días. D: 2años – 5 años S: 16, 20, 24, 96. | F: 1RM, 10 RMapx, Flsc, CImáx. CSA: RM, EC | 70% de 1RM | 130 mmHg. Incremento de 10 mmHg por día. Presión máxima 180 mmHg; 80 a 260 mmHg, | Zona proximal del muslo |
| Colombo V y cols. (Colombo et al., 2024) | GE: Combinado de (BFR+ejercicio de resistencia progresiva). GC: Ejercicio de resistencia progresiva. | Pre – Post | DA: 8días, 3 semanas antes de la RLCA D: 2-14 días, 16 semanas. S: 16, 9, 5, 26, 96. | F: 1RM, FlscC 60°/120°/150°/180°/300°, DIcs, DIc. CSA: Cm, RM, US. | 30% de 1RM con BRF y 70% de 1RM sin BFR. | 50 mmHg al GE y 20 mmHg al GC, 130 mmHg a 180 mmHg, 186 mmHg. | Zona proximal del muslo |
| Charles D y cols. (Charles et al., 2020) | GE: Combinado de (BFR+ejercicio de resistencia progresiva). GC: Ejercicio de resistencia progresiva. | Post | D: 11 días, 1-16 semanas, 16 días, 1-12 semanas, S: 22, 96. | F: 1RM, Flsc. CSA: TC | No especificado en este artículo. | 180 (inicio) - 238 mmHg (media final), 180 mmHg, 130 (inicio) - 180 mmHg (final). | Zona proximal del cuádriceps |
| Centner C y cols. | GE: Combinado (BFR+standardisierteres Reha- | Post | D: Post (0- 16 semanas); BFR sólo sin ejercicio 4 | F: Dinamometría de los flexores y | 30% 1RM (+ standardisiert | 120 -210 mmHg; 140 - 160 mmHg, 180 -240 | Zona proximal |

Recepción: 15-08-2024 / Revisión: 25-08-2024 / Aprobación: 10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|---|-------------------------------------|------------------------------|
| (Centner et al., 2020) | Programm). GC: standardisiertes Reha-Programm | | | Semanas. S: 11, 20, 48, 60 | extensores de rodilla, 1RM CSA: RM, US | es Reha-Programm); 20-30% 1RM, 20% 1RM. | mmHg. | del cuádriceps |
| Fracas Fernánd ez E y cols. (Fracas Fernánd ez et al., 2024) | GE: Combinado Post (BFR+ejercicio de-resistencia progresiva/aeróbico). GC: Ejercicio de resistencia progresiva. | | | D: 8, 12, 3, 14, 2, 1 semanas; 12, 9 días. S: 16, 9, 23, 92 | F: Dinamometría de los flexores y extensores de rodilla CSA: RM | No especificado | 130 a 180 mmHg, 150 mmHg, 180 mmHg. | Zona proximal del cuádriceps |

F: Fuerza **Fisc**: fuerza isocinética, **FiscC**: fuerza isocinética concéntrica, **Fist**: Fuerza isotónica **Cmáx**: Contracción isométrica máxima **CSA**: Área transversal del cuádriceps **TC**: Tomografía computarizada, **D**: Duración, **DA**: Duración antes, **S**: sesiones, **RM**: resonancia magnética, **US**: Ultrasonido **TCIVmáx**: torque de contracción isométrica volitiva máxima, **EMG**: electromiografía de superficie, **Cm**: cinta métrica, **10 RM apx**: 10 repetición máxima aproximada, **1RM**: 1 repetición máxima, **ECCA**: Ejercicios de cadena cinética abierta, **ECCC**: Ejercicios cadena cinética cerrada, **EC**: ecografía, **RLCA**: reconstrucción de ligamento cruzado anterior, **Disc**: dinamometría isocinética, **Dic**: isométrica concéntrica.

Tabla 3. Check List de las variables específicas del estudio

| AUTOR/AÑO | TEMA | SEMANAS PREOPERATORIO | SEMANAS POSTOPERATORIO | SESIONES | FORTALECIMIENTO | CALENTAMIENTO | RESISTENCIA PROGRESIVA | AERÓBICO | EQUILIBRIO | RESTRICCIÓN DE FLUJO |
|--|---|-----------------------|------------------------|----------------|-----------------|---------------|------------------------|----------|------------|----------------------|
| Bobes Álvarez C y cols. (Bobes Álvarez et al., 2020) | Effects of various load magnitudes on ACL: an in vitro study using adolescent porcine stifle joints. | 2,3 | 2,8,16 | X | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ |
| Koc BB y cols. (Koc et al., 2022) | Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review | 2 | 2,14 | 16, 22, 24, 84 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ |
| Lu Y y cols. (Lu et al., 2020) | Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction: A Systematic Review | 2,3 | 1,16 | 5, 22, 24, 84. | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | X | ✓ |

Recepción:15-08-2024 / Revisión:25-08-2024 / Aprobación:10-11-2024 / Publicación: 27-11-2024

| | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|---------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|
| Colapietro M y cols. (Colapietro et al., 2023) | Effects of Blood Flow Restriction Training on Clinical Outcomes for Patients With ACL Reconstruction: A Systematic Review | 3,1 | 2 -5 años | 16, 20, 24, 96. | ✓ | X | ✓ | X | X | ✓ |
| Colombo V y cols. (Colombo et al., 2024) | Comparison of Blood Flow Restriction Interventions to Standard Rehabilitation After an Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review | 1,3 | 2,16 | 16, 9, 5, 26, 96. | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ |
| Charles D y cols. (Charles et al., 2020) | A SYSTEMATIC REVIEW OF THE EFFECTS OF BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING ON QUADRICEPS MUSCLE ATROPHY AND CIRCUMFERENCE POST ACL RECONSTRUCTION | X | 1,2,16 | 22, 96. | ✓ | X | ✓ | X | X | ✓ |
| Centner C y cols. (Centner et al., 2020) | Evidenz-basierte Effekte von Blood Flow Restriction Training in der Rehabilitation von Kniearthrose und Kreuzbandrupturen: ein systematisches Review. | X | 16 | 11, 20, 48, 60 | ✓ | X | ✓ | X | X | ✓ |
| Frac-Fernández E y cols. (Frac-Fernández et al., 2024) | Effects of Blood Flow Restriction Training in Patients before and after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis | X | 8,12,3,14,2,1 | 16, 9, 23, 92 | ✓ | ✓ | ✓ | X | X | ✓ |

Los estudios analizados presentan variedades significativas en cuanto a la carga de entrenamiento utilizada. Autor (Bobes Álvarez et al., 2020) identificó cargas bajas (20-30%) y altas (70-80%), (Koc et al., 2022) 30% de 1RM y 80% de 1RM. Autor (Lu et al., 2020) se basó en el peso corporal y 30% de 1RM. Autor (Colapietro et al., 2023) optó sus resultados por 70% de 1RM. Autor (Colombo et al., 2024) en sus estudios identifico el uso del 30% de 1RM con restricción de flujo sanguíneo (BFR) y 70% de 1RM sin BFR. Los autores (Charles et al., 2020) y (Frac-Fernández et al., 2024) no especificaron la carga utilizada y finalmente el autor (Centner et al., 2020), identifico el uso del 30% de 1RM dentro de un programa de rehabilitación estandarizado y exploró cargas del 20-30% y 20% de 1RM. Estas diferencias en la carga de entrenamiento reflejan variaciones en los objetivos y enfoques de cada estudio.

Presión de los manguitos

Los autores consultados coinciden en que la presión de los manguitos debe oscilar entre 130-180 mmHg, aunque varían en los límites exactos y el ritmo de aumento. Autores como (Bobes Álvarez et al., 2020), (Colapietro et al., 2023), (Charles et al., 2020), (Frac-Fernández et al., 2024), sugieren iniciar en 130 mmHg y aumentar 10 mmHg cada dos días hasta alcanzar 180 mmHg. Por otro lado, Autores (Koc et al., 2022) y (Centner et al., 2020) proponen rangos más amplios (148-238 mmHg y 120-210 mmHg, respectivamente). Autor (Lu et al., 2020) establece un rango aún más extenso (130-238 mmHg), mientras que Autor (Colombo et al., 2024) sugiere valores más bajos (50 mmHg para el grupo experimental y 20 mmHg para el grupo control). En general, la presión máxima recomendada es 180 mmHg, aunque algunos autores como (Koc et al., 2022) y (Centner et al., 2020) llegan hasta 240 mmHg.

DISCUSIÓN

El entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (BFR) es beneficioso para mejorar la fuerza muscular, especialmente en la fuerza isocinética y el área transversal de los extensores de la rodilla, después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Según varios autores (Koc et al., 2022), (Colombo et al., 2024), (Charles et al., 2020), (Frac-Fernández et al., 2024) el

BFR: aumenta la fuerza muscular en mujeres y después de la LCA, reduce significativamente los déficits de fuerza en la extensión isocinética de la rodilla, mejora la resistencia muscular y la función muscular en pruebas de equilibrio y movilidad, aumenta el tamaño muscular del cuádriceps y atenúa las pérdidas de fuerza isocinética concéntrica después de la cirugía y la rehabilitación. Sin embargo, algunos estudios (Bobes Álvarez et al., 2020), (Colapietro et al., 2023), (Centner et al., 2020) encontraron resultados mixtos o no significativos, sugiriendo que la efectividad del BFR puede variar dependiendo de la población, el protocolo de entrenamiento y las mediciones utilizadas. Las características del entrenamiento BFR que parecen ser más efectivas incluyen: alto número de repeticiones (15-40), baja intensidad (20-30% del 1RM), presión del manguito de 150 mmHg o el 80% de la presión de oclusión de la extremidad, aplicación después de la cirugía, especialmente en las primeras semanas. En general, el entrenamiento BFR parece ser una herramienta efectiva para mejorar la fuerza y el tamaño muscular después de la reconstrucción del LCA.

En relación con el área transversal del músculo (CSA) después de lesiones o cirugías. (Bobes Álvarez et al., 2020), (Colombo et al., 2024) destacan que el BFR de baja carga puede incrementar el CSA del cuádriceps en comparación con el entrenamiento estándar sin oclusión, observándose aumentos del 7-8%. Además, (Koc et al., 2022), (Lu et al., 2020) señalan que el BFR puede preservar o mejorar la masa muscular del cuádriceps utilizando análisis de estudios de MR y US. (Lu et al., 2020) además, ha observado cambios importantes en la reducción del dolor y un aumento significativo en la fuerza muscular, pero con algunas complicaciones menores. (Colapietro et al., 2023), (Centner et al., 2020) indican que el BFR es efectivo para reducir la atrofia muscular y mejorar la función muscular, especialmente cuando se combina con entrenamiento de baja intensidad. Sin embargo, (Colapietro et al., 2023) menciona que solo algunas medidas morfológicas fueron clínicamente significativas.

(Charles et al., 2020) muestra un aumento significativo en el CSA del extensor de la rodilla después de 16 semanas de BFR, aunque no todos los estudios encontraron diferencias significativas entre los grupos de control y BFR. (Fracá-Fernández et al., 2024) concluye que el

BFR aplicado después de la cirugía presenta diferencias significativas, no así cuando se aplica antes de la cirugía.

En conjunto, estos autores sugieren que el BFR puede ser una herramienta eficaz para mejorar la masa y fuerza muscular, aunque los resultados pueden variar dependiendo del protocolo de ejercicios y las condiciones del estudio.

CONCLUSIONES

El BFR-E es beneficioso para mejorar la fuerza muscular, especialmente en la fuerza isocinética y el área transversal de los extensores de la rodilla, después de la reconstrucción de LCA, sin embargo, los resultados pueden variar dependiendo del protocolo de ejercicios y las condiciones del estudio. Las características del BFR-E que parecen ser más efectivas incluyen: alto número de repeticiones (15-40), baja intensidad (20-30% del 1RM), presión del manguito de 150 mmHg o el 80% de la presión de oclusión de la extremidad, aplicación después de la cirugía, especialmente en las primeras semanas.

Mediante análisis de estudios de MR y US se encontró que se puede preservar o mejorar la masa muscular del cuádriceps, además, reduce la atrofia muscular y mejorar su función, especialmente cuando se combina con entrenamiento de baja intensidad. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el BFR es una herramienta valiosa para la rehabilitación después de la reconstrucción del LCA.

BIBLIOGRAFÍA

1. Koh J, Mungalpara N, Kim S, Bedi A, Hutchinson M, Amirouche F. Effects of various load magnitudes on ACL: an in vitro study using adolescent porcine stifle joints. *J Orthop Surg.* 6 de mayo de 2024;19(1):280.
2. Luzo MVM, Franciozi CE da S, Rezende FC, Gracitelli GC, Debieux P, Cohen M. Anterior cruciate ligament - updating article. *Rev Bras Ortop.* 2016;51(4):385-95.
3. Chia L, De Oliveira Silva D, Whalan M, McKay MJ, Sullivan J, Fuller CW, et al. Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injury Epidemiology in Team-Ball Sports: A Systematic Review with Meta-analysis by Sex, Age, Sport, Participation Level, and Exposure Type. *Sports Med Auckl NZ.* octubre de 2022;52(10):2447-67.
4. Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Larson DR, Dahm DL, Levy BA, et al. Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears and Reconstruction: A 21-Year Population-Based Study. *Am J Sports Med.* junio de 2016;44(6):1502-7.
5. Stojanović E, Faude O, Nikić M, Scanlan AT, Radovanović D, Jakovljević V. The incidence rate of ACL injuries and ankle sprains in basketball players: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* junio de 2023;33(6):790-813.
6. Birchmeier T, Lisee C, Kane K, Brazier B, Triplett A, Kuenze C. Quadriceps Muscle Size Following ACL Injury and Reconstruction: A Systematic Review. *J Orthop Res.* 2020;38(3):598-608.
7. Larwa J, Stoy C, Chafetz RS, Boniello M, Franklin C. Stiff Landings, Core Stability, and Dynamic Knee Valgus: A Systematic Review on Documented Anterior Cruciate Ligament Ruptures in Male and Female Athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 6 de abril de 2021;18(7):3826.

8. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Quelard B, Daggett M, Borade A, Ouanezar H, et al. Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *Br J Sports Med.* marzo de 2019;53(5):289-98.
9. Dauty M, Menu P, Mesland O, Fouasson-Chailloux A. Arthrogenic muscle inhibition and return to sport after arthrofibrosis complicating anterior cruciate ligament surgery. *Eur J Sport Sci.* 3 de abril de 2022;22(4):627-35.
10. Glatke KE, Tummala SV, Chhabra A. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Recovery and Rehabilitation: A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am.* 20 de abril de 2022;104(8):739-54.
11. Ra J, Bs L, Ca H, D D, H G, Pc M. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports Health [Internet].* mayo de 2023 [citado 19 de septiembre de 2024];15(3). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35762124/>
12. Cognetti DJ, Shean AJ, Owens JG. Blood Flow Restriction Therapy and Its Use for Rehabilitation and Return to Sport: Physiology, Application, and Guidelines for Implementation. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* enero de 2022;4(1):e71-6.
13. Miller BC, Tirko AW, Shipe JM, Sumeriski OR, Moran K. The Systemic Effects of Blood Flow Restriction Training: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther.* 2021;16(4):978-90.
14. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol.* 1 de septiembre de 2021;74(9):790-9.
15. Ciapponi A. AMSTAR-2: herramienta de evaluación crítica de revisiones sistemáticas de estudios de intervenciones de salud. *Evid - Actual En Práctica Ambulatoria [Internet].* 1 de abril de 2018 [citado 23 de septiembre de 2024];21(1). Disponible en: <https://www.evidencia.org/index.php/Evidencia/article/view/6834>

16. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*. 21 de septiembre de 2017;358:j4008.
17. Koc BB, Truyens A, Heymans MJLF, Jansen EJP, Schotanus MGM. Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther*. 2022;17(3):334-46.
18. Colapietro M, Portnoff B, Miller SJ, Sebastianelli W, Vairo GL. Effects of Blood Flow Restriction Training on Clinical Outcomes for Patients With ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Health*. 2023;15(2):260-73.
19. Fraca-Fernández E, Ceballos-Laita L, Hernández-Lázaro H, Jiménez-Del-Barrio S, Mingo-Gómez MT, Medrano-de-la-Fuente R, et al. Effects of Blood Flow Restriction Training in Patients before and after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthc Basel Switz*. 20 de junio de 2024;12(12):1231.
20. Bobes Álvarez C, Issa-Khozouz Santamaría P, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero S, et al. Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *J Clin Med*. 27 de diciembre de 2020;10(1):68.
21. Lu Y, Patel BH, Kym C, Nwachukwu BU, Beletksy A, Forsythe B, et al. Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med*. marzo de 2020;8(3):2325967120906822.
22. Colombo V, Valenčič T, Steiner K, Škarabot J, Folland J, O'Sullivan O, et al. Comparison of Blood Flow Restriction Interventions to Standard Rehabilitation After an Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review. *Am J Sports Med*. 9 de abril de 2024;3635465241232002.

23. Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A SYSTEMATIC REVIEW OF THE EFFECTS OF BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING ON QUADRICEPS MUSCLE ATROPHY AND CIRCUMFERENCE POST ACL RECONSTRUCTION. *Int J Sports Phys Ther.* diciembre de 2020;15(6):882-91.
24. Centner C, Mauch M, Paul J, Ritzmann R. Evidenz-basierte Effekte von Blood Flow Restriction Training in der Rehabilitation von Kniearthrose und Kreuzbandrupturen: ein systematisches Review. *Sports Orthop Traumatol.* 1 de junio de 2020;36(2):131-42.
25. Johnston PT, McClelland JA, Feller JA, Webster KE. Knee muscle strength after quadriceps tendon autograft anterior cruciate ligament reconstruction: systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* septiembre de 2021;29(9):2918-33.
26. Butt J, Ahmed Z. Blood Flow Restriction Training and Its Use in Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 20 de octubre de 2024;13(20):6265.