



## TÍTULO

**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CON RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO EN LA ATROFIA MUSCULAR DEL MUSLO TRAS LA ROTURA DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN SISTEMÁTICA**

## AUTORA

**Ana Belén Lendínez Extremera**

	<b>Esta edición electrónica ha sido realizada en 2024</b>
<b>Tutor</b>	Dr. D. Agustín Aibar Almazán
<b>Instituciones</b>	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad Pablo de Olavide
<b>Curso</b>	<i>Máster Oficial Interuniversitario en Actividad Física y Salud (2022/23)</i>
©	Ana Belén Lendínez Extremera
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
<b>Fecha documento</b>	2023



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas  
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



Efectos del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo en la atrofia muscular del muslo tras la rotura del ligamento cruzado anterior. Revisión sistemática.

Trabajo de Fin de Master presentado para optar al Título de Master Universitario en Actividad Física y Salud por Ana Belén Lendínez Extremera, siendo el tutor del mismo el Dr. D. Agustín Aibar Almazán.

Ana Belén Lendínez Extremera

29/05/2023



**MÁSTER OFICIAL INTERUNIVERSITARIO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y SALUD**  
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO 2022-2023

**TÍTULO:**

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CON RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO EN LA ATROFIA MUSCULAR DEL MUSLO TRAS LA ROTURA DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN SISTEMÁTICA.

**AUTOR:**

ANA BELÉN LENDÍNEZ EXTREMERA

**TUTOR ACADÉMICO:**

Dr. D. AGUSTÍN AIBAR ALMAZÁN

**RESUMEN:**

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) puede ser una herramienta eficaz para mejorar la sintomatología de los pacientes que se someten a un remplazo del ligamento cruzado anterior (ACLR). El objetivo de esta revisión sistemática fue valorar la efectividad del BFR en pacientes intervenidos de ACLR. Para ello, se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica en Pubmed, Cochrane, Scopus, PEDro y CINAHL, usando como palabras clave “blood flow restriction” y “anterior cruciate ligament”, combinados con el operador booleano “AND”. Tras analizar los resultados de los 8 estudios incluidos en esta revisión, se obtuvo como conclusión que existe evidencia de que el entrenamiento con BFR mejora la fuerza de la rodilla, la sintomatología y la funcionalidad de la rodilla del paciente sometido a ACLR, siempre que se realice tras la cirugía y con intensidades bajas.

**PALABRAS CLAVE:**

Restricción del flujo sanguíneo; entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo;

entrenamiento oclusivo; ejercicio; reconstrucción del ligamento cruzado anterior; ligamento cruzado anterior; rehabilitación.

**ABSTRACT:**

Blood flow restriction training (BFR) can be an effective tool to improve the symptoms of patients undergoing anterior cruciate ligament replacement (ACLR). The objective of this systematic review was to evaluate the effectiveness of BFR in patients operated on for ACLR. For this, an exhaustive bibliographic search was carried out in Pubmed, Cochrane, Scopus, PEDro and CINAHL, using the keywords “blood flow restriction” and “anterior cruciate ligament”, combined with the boolean operator “AND”. After analyzing the results of the 8 studies included in this review, it was concluded that there is evidence that training with BFR improves knee strength, symptomatology, and knee functionality in patients undergoing ACLR, provided that perform after surgery and with low intensities.

**KEYWORDS:**

Blood flow restriction; blood flow restriction training; occlusion training; exercise; anterior cruciate ligament reconstruction; anterior cruciate ligament; rehabilitation.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	0
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	4
2.1. FUENTES DE INFORMACIÓN Y ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA.....	4
2.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	6
2.3. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	6
2.4. CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ESTUDIOS.....	6
2.5. ANÁLISIS DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA.....	7
3. RESULTADOS.....	7
3.1. SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS.....	7
3.2. CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ESTUDIOS.....	8
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN.....	9
3.3.1. Estudios que tuvieran como variable el tiempo para volver a la actividad.....	14
3.3.2. Estudios que tuvieran como variable la función física autoinformada de la rodilla, considerando síntomas como el dolor.....	15
3.3.3. Estudios que tuvieran como variable los cambios en el área transversal del cuádriceps.....	18
4. DISCUSIÓN.....	20
4.1. LIMITACIONES.....	22
5. CONCLUSIÓN.....	23
6. REFERENCIAS.....	24

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACLR: reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

BTB: hueso-tendón rotuliano-hueso.

LCA: ligamento cruzado anterior.

ECA: ensayo clínico controlado aleatorizado.

BFR: restricción del flujo sanguíneo.

1RM: repetición máxima

HL-RT: entrenamiento de resistencia con carga pesada.

RTA: tiempo para volver a la actividad completa.

DMO: densidad mineral ósea.

LM: masa magra.

ROM: rango de movimiento.

RPE: esfuerzo percibido.

ACSA: cambios en el área transversal del cuádriceps.

KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score.

IKDC: International Knee Documentation Committee.

SEBT: Star Excursión Balance Test.

RM: resonancia magnética.

VAS: escala visual analógica.

PROMIS: Patient-Reported Outcome Measurement System.

# 1. INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura compleja de tejido conjuntivo denso, que discurre oblicuamente a través de la fosa intercondílea desde el interior del cóndilo femoral lateral hasta la eminencia intercondílea<sup>1</sup>. Puede dividirse funcionalmente en un haz anteromedial, que se inserta medial a la tuberosidad intercondílea medial, y el haz posterolateral, que se inserta cerca de la tuberosidad intercondílea lateral, anterior a la raíz posterior del menisco externo<sup>2</sup>.

El LCA está rodeado por la membrana sinovial, por lo que es intracapsular, y está irrigado por las arterias genicular media, inferior y lateral. Sin embargo, hay una zona avascular en la región de inserción y en el tercio distal anterior del LCA que puede dificultar su regeneración ante una lesión<sup>3</sup>.

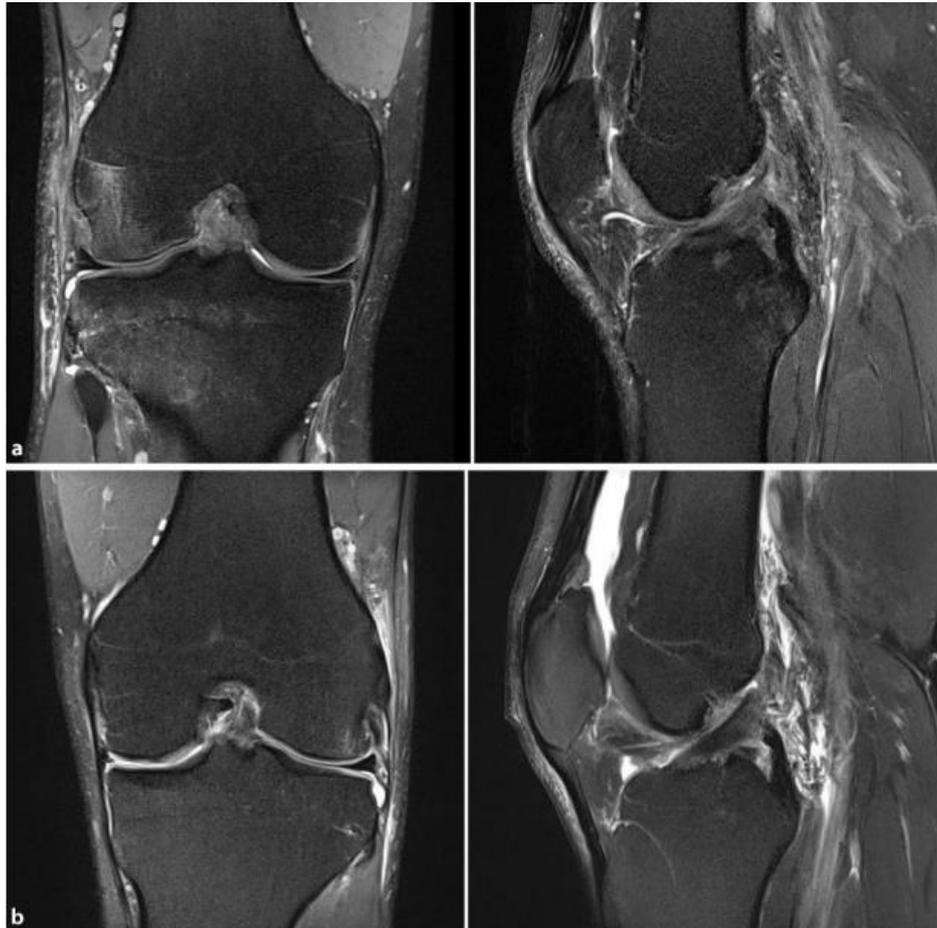
Las lesiones del LCA son lesiones traumáticas muy frecuentes en los ligamentos de la rodilla y afectan sobre todo a atletas jóvenes. Suelen ocurrir por mecanismos de baja energía sin contacto, en los momentos de desaceleración, corte y rotación realizados en el deporte<sup>4</sup>. La evidencia actual estima que la incidencia promedio de rotura del LCA se da en 1 de cada 3500 atletas, observándose una mayor incidencia en los jugadores de fútbol masculino, por mecanismos de contacto directo, mientras que en las mujeres suele ser por mecanismos sin contacto directo<sup>5</sup>.

El valgo dinámico de rodilla es el principal factor de riesgo en estas lesiones, ya que genera fuerzas de tracción significativas en el LCA<sup>6</sup>. Otros factores de riesgo intrínsecos pueden ser una laxitud anteroposterior de la rodilla, una mala alineación de la extremidad y la pronación de la articulación subastragalina<sup>4</sup>. Como factores de riesgo extrínsecos deben tenerse en cuenta la superficie de juego, la interacción del calzado con el terreno y las estrategias alteradas de control neuromuscular<sup>7</sup>.

El ligamento cruzado anterior, junto con el ligamento cruzado posterior, es un buen estabilizador central de la articulación de la rodilla. Estabiliza la tibia para evitar el aumento de la traslación ventral y el aumento de la rotación interna<sup>8</sup>. Por lo tanto, una mala función del LCA provoca inestabilidad y alteraciones en la mecánica articular de la rodilla. De hecho, si se produce una rotura de este ligamento se puede originar un incremento de la traslación anterior de la tibia y una subluxación anterolateral de la tibia<sup>9</sup>.

El diagnóstico para una lesión del LCA se realiza combinando la historia clínica del paciente, el examen clínico y las posibles pruebas de imagen<sup>10</sup>. En el examen clínico, la amplitud de traslación anterior de la tibia podrá ser determinada por la prueba de Lachman y

por la prueba del cajón anterior<sup>11</sup>. Como pruebas de imagen, se puede realizar una radiografía simple y/o una resonancia magnética, para aclarar una lesión del ligamento cruzado anterior, como se muestra en la siguiente figura.



*Figura 1.1. Resonancia magnética. a) Corte coronal y sagital en T2 con rotura completa del ligamento cruzado anterior. b) Corte coronal y sagital en T2 con rotura del ligamento cruzado anterior<sup>8</sup>.*

El tratamiento de una rotura del LCA depende del grado de afectación y de su laxitud patológica. Las tres opciones de tratamiento principales<sup>12</sup> son:

- Rehabilitación como primera línea y reconstrucción del LCA si el paciente desarrolla inestabilidad funcional.
- Reconstrucción del LCA y rehabilitación postoperatoria.
- Rehabilitación preoperatoria, reconstrucción del LCA y rehabilitación postoperatoria.

Normalmente, si el paciente muestra inestabilidad en su vida diaria, participa en actividades deportivas de contacto y/o tiene otra lesión asociada, como la rotura de menisco o de algún otro ligamento, se recomienda el tratamiento quirúrgico<sup>7</sup>. Aunque se debe tener en cuenta que para que la reconstrucción del LCA sea exitosa, el paciente debe comprometerse en el programa de rehabilitación<sup>13</sup>.

El tratamiento quirúrgico suele ser lo menos invasivo posible, normalmente con artroscopia, para mejorar la estética, tener una menor alteración del cuádriceps y conseguir una rehabilitación temprana. Los tipos de autoinjertos que suelen utilizarse son hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB), isquiotibiales y cuádriceps<sup>14</sup>. También se usan los aloinjertos, utilizando el tendón del tibial anterior, del tibial posterior, el peroneo y el tendón de Aquiles<sup>15</sup>. El autoinjerto con menos tasa de fracaso y que aporta mayor estabilidad es el BTB, sin embargo, se asocia a un aumento de dolor anterior de rodilla. En cuanto a la elección de autoinjerto o aloinjerto, la literatura científica muestra mejores resultados tras la reconstrucción del LCA con autoinjerto, aunque los pacientes con aloinjertos suelen presentar menor dolor de rodilla<sup>16</sup>.

Antes de someterse a un remplazo del LCA se recomienda realizar una fase preparatoria de rehabilitación en la que se puede mejorar la fuerza del cuádriceps y la movilidad de rodilla para mejorar los resultados postquirúrgicos<sup>17</sup>. Tras la reconstrucción del LCA se pueden realizar ejercicios de forma activa y pasiva para mejorar la movilidad de la rodilla, ejercicios con y sin carga, ejercicios de fuerza, estimulación eléctrica neuromuscular de alta intensidad y crioterapia para controlar el dolor. Más tarde se tendrán en cuenta los ejercicios propioceptivos y de control motor<sup>12</sup>.

Tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior se genera una atrofia y debilidad muscular en la musculatura que estabiliza la rodilla, cadera y tronco<sup>18</sup>. El desarrollo de la fuerza y de la hipertrofia depende de la carga de tensión progresiva del músculo, modificada en la clínica a través del peso levantado, número de series y repeticiones realizadas. Las pautas de entrenamiento de fuerza recomiendan el uso de cargas altas (>60% del 1RM, 8-12 repeticiones)<sup>19</sup> pero este tipo de entrenamiento después de una lesión o tras una cirugía puede estresar negativamente a los tejidos dañados y en proceso de curación. Usar cargas más bajas puede minimizar el estrés excesivo en los tejidos, pero conlleva a una menor capacidad para aumentar la fuerza<sup>20</sup>.

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) o entrenamiento oclusivo es una técnica novedosa que puede tener una gran relevancia tras la reconstrucción del LCA. Se usa una correa o manguito neumático para restringir de forma parcial el flujo arterial y de forma completa el flujo venoso distal en la musculatura, mientras se realiza ejercicio a intensidad baja con un volumen alto de repeticiones<sup>21</sup>. Con el entrenamiento oclusivo se pueden usar cargas situadas entre el 20-40% del 1RM, por lo que el paciente va a tolerar mucho mejor este tipo de entrenamiento, consiguiendo disminuir su dolor y mejorando a la vez su fuerza muscular<sup>22</sup>. Además, si lo comparamos con el entrenamiento sin restricción del

flujo sanguíneo, el entrenamiento BFR tiene efectos no perjudiciales para la laxitud del injerto del LCA<sup>23</sup>. Por otro lado, el uso de entrenamiento BFR realizado junto con ejercicios de resistencia de baja intensidad arroja resultados prometedores en la mejora de la atrofia muscular del cuádriceps<sup>24</sup>.

Las últimas revisiones sistemáticas<sup>25,26,27</sup> han estudiado los efectos del entrenamiento oclusivo en la mejora de la atrofia del músculo cuádriceps tras el remplazo quirúrgico del LCA, pero no han valorado los efectos en la musculatura isquiotibial, que también es importante a la hora de proporcionar estabilidad y funcionalidad en la rodilla tras este tipo de intervención. Por ello, en esta revisión sistemática vamos a estudiar la efectividad del entrenamiento BFR en toda la musculatura implicada en la biomecánica de la rodilla tras la reconstrucción quirúrgica del LCA.

Por todo ello, el objetivo principal de esta revisión sistemática es valorar la efectividad del entrenamiento BFR en la ganancia muscular de la musculatura implicada en la biomecánica de la rodilla tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Los objetivos secundarios son identificar los efectos del entrenamiento realizado con restricción del flujo sanguíneo y compararlos con respecto a otros tipos de entrenamientos en la reconstrucción del LCA.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

Para la elaboración de esta revisión sistemática se han tenido en cuenta las indicaciones propuestas por Moher et al.<sup>28</sup> en la Declaración PRISMA (“Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analysis). También, se han tenido en cuenta las recomendaciones metodológicas planteadas por Higgins et al.<sup>29</sup> en el “Manual Cochrane para la Elaboración de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones”.

### **2.1. FUENTES DE INFORMACIÓN Y ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA**

La búsqueda bibliográfica fue realizada entre los meses de noviembre y diciembre de 2022 y enero de 2023, usando como bases de datos: Pubmed, Cochrane, PEDro, CINAHL y Scopus.

En la estrategia de búsqueda se tuvo en cuenta el uso del sistema PICOS de Cochrane Library<sup>30</sup>, estructurado con los siguientes apartados:

- Población: pacientes intervenidos de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior

(ACLR).

- Intervención: tratamiento mediante entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.
- Comparación: ejercicios concéntricos, excéntricos, entrenamiento de resistencia con carga pesada (HL-RT), rehabilitación estándar tras ACLR.
- Variables (outcomes): dolor de rodilla percibido, fuerza muscular, esfuerzo percibido al realizar los ejercicios, función física de la rodilla, ROM de la rodilla, laxitud del ligamento, área de sección transversal anatómica del cuádriceps, torque muscular en los extensores y flexores de rodilla, diámetro de cada fibra muscular, masa magra, masa ósea, densidad mineral ósea, cambio en la fuerza isométrica e isocinética del cuádriceps, cambio del volumen muscular del recto femoral, cambio en la activación central y cambio en el 1RM de prensa de piernas.
- Estudios (studies): ECAs

Los descriptores o palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: “blood flow restriction”, “blood flow restriction training”, “BFR”, “anterior cruciate ligament reconstruction”, “anterior cruciate ligament injury” y “anterior cruciate ligament”. Todos estos descriptores se combinaron con el operador booleano OR y AND. La tabla 2.1. incluye las estrategias de búsqueda realizadas según la base de datos utilizada.

Tabla 2.1. Estrategia de búsqueda realizada en las bases de datos utilizadas. Elaboración propia.

BASE DE DATOS	MODO DE BÚSQUEDA	RESULTADOS
<b>Pubmed</b>	(blood flow restriction [Title/Abstract] OR blood flow restriction training [Title/Abstract] OR BFR [Title/Abstract]) AND (anterior cruciate ligament reconstruction [Title/Abstract] OR anterior cruciate ligament injury [Title/Abstract] OR ACL [Title/Abstract] OR anterior cruciate ligament [Title/Abstract])	38
<b>Cochrane</b>	(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)	46
<b>PEDro</b>	blood flow restriction AND anterior cruciate ligament	13
<b>CINAHL</b>	(blood flow restriction OR blood flow restriction	37

	training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)	
<b>Scopus</b>	(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)	48
<b>TOTAL</b>		<b>182</b>

## 2.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Para la realización de un análisis más exhaustivo, los criterios de inclusión utilizados para la selección de los artículos han sido:

- Tipo de estudio: estudios clínicos controlados y aleatorizados (ECA).
- Tipo de intervención: estudios en los que utilicen entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo como tratamiento.
- Tipo de pacientes: hombres o mujeres sometidos a un remplazo del LCA.
- Artículos publicados en idioma español o inglés.

## 2.3. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

No se incluyeron otras revisiones sistemáticas ni otros estudios que no fueran ensayos controlados y aleatorizados. Tampoco se analizaron estudios que no estuvieran en los idiomas requeridos ni aquellos que estuvieran incompletos o que no tuvieran una definición correcta y clara de las variables de estudio.

## 2.4. CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ESTUDIOS

Los artículos seleccionados para la revisión sistemática fueron sometidos a una evaluación de su calidad. Para ello se utilizó la escala PEDro, una de las escalas más usadas con la cual se evaluó la calidad metodológica de los ensayos clínicos.

La escala PEDro es un recurso validado y utilizado en las investigaciones y en los ensayos clínicos de intervenciones fisioterapéuticas. Esta escala evalúa la calidad metodológica de los ensayos clínicos controlados aleatorizados. Está compuesta por 11 ítems que evalúan la

validez interna y externa y el soporte estadístico del estudio<sup>31</sup>. El primer ítem no es puntuable debido a que solo influye en la validez externa del estudio y no está contemplado en la sumatoria final. Cada ítem será evaluado con una puntuación de uno, si aparece dentro del artículo, o cero, si no aparece. De esta forma, evaluando los ítems del dos al once, el artículo alcanzará una puntuación de diez puntos como máximo y de cero como mínimo.

Según de Morton<sup>32</sup>, los artículos serán calificados como “deficientes”, si presentan una puntuación menor a cuatro, “regulares”, si tienen entre cuatro y cinco puntos, “buenos”, si la puntuación está entre seis y ocho puntos y “excelentes” si obtienen entre nueve y diez puntos.

## **2.5. ANÁLISIS DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA**

En esta revisión se incluyeron estudios donde se realizaron distintos tipos de entrenamiento aplicados al mismo proceso patológico. Resulta complicado y laborioso determinar el beneficio relativo de una intervención frente a otra que aparezca en alguno de los artículos incluidos en la revisión. Debido a esto, para realizar un correcto análisis de la evidencia científica, se usó un método cualitativo que evalúa el nivel de evidencia. Este método está recomendado por el *Grupo Cochrane Espalda*<sup>33</sup> y usa distintos niveles de evidencia explicados a continuación:

- Nivel 1: muestra una evidencia sólida, que se obtiene a partir de resultados consistentes de varios ECAs que tienen un bajo nivel de sesgo.
- Nivel 2: determina una evidencia moderada, conseguida a partir de resultados de un ECA que posee bajo riesgo de sesgo y/o varios ECAs con un alto riesgo de sesgo.
- Nivel 3: muestra una evidencia limitada, que se obtiene a partir de resultados de un ECA de calidad moderada y uno o varios ECAs de baja calidad con un alto riesgo de sesgo.
- Nivel 4: determina una evidencia insuficiente, alcanzada a partir de resultados sólidos de uno o varios ECAs de baja calidad o cuando los resultados presentados en los estudios son contradictorios.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS**

Tras la búsqueda exhaustiva en las diferentes bases de datos (Pubmed, Cochrane, PEDro, CINAHL y SCOPUS), se obtuvieron un total de 182 artículos que hacían referencia al tema elegido. Se descartaron 67 artículos por no ser ensayos clínicos y quedaron 87 artículos tras eliminar los duplicados. Una vez analizados los artículos a texto completo, se eliminaron 79 artículos ya que 72 no eran ensayos clínicos aleatorizados y 7 no cumplieron los criterios de inclusión. Finalmente, quedaron 8 artículos válidos para realizar esta revisión. En la figura 3.1. se incluye el diagrama de flujo correspondiente al proceso de selección de los artículos.

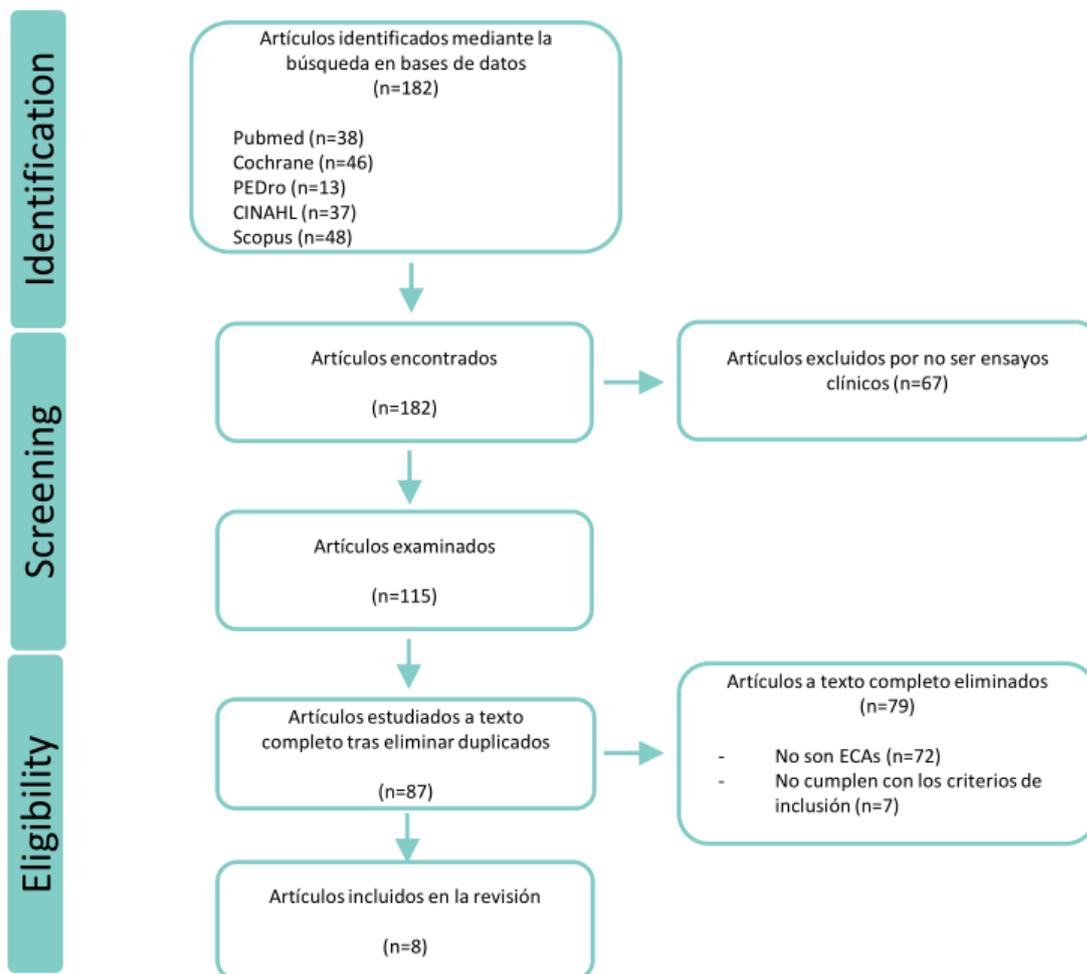


Figura 3.1. Diagrama de flujo para la selección de los artículos. Elaboración propia.

### 3.2. CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ESTUDIOS

Los ensayos clínicos aleatorizados incluidos en esta revisión obtienen una puntuación mínima de cuatro puntos sobre diez y una máxima de siete sobre diez puntos en la escala PEDro. Exceptuando uno de los artículos, el resto tiene una puntuación de seis o siete

sobre diez, por lo que están calificados como buenos. En la tabla 3.1. se puede observar la evaluación de cada artículo escogido según la presencia o ausencia de los ítems de calidad metodológica que se valoran en la escala PEDro.

*Tabla 3.1. Puntuación en la escala PEDro. Elaboración propia.*

Artículo	Sujetos asignados al azar	Asignación oculta	Grupos homogéneos al inicio	Sujetos cegados	Terapeutas cegados	Evaluadores cegados	Adecuado seguimiento	Análisis por “ intención a tratar”	Comparativa de resultados entre grupos	Medidas puntuales y de variabilidad	Puntuación escala PEDro
<b>Curran et al.,<sup>34</sup> (2020)</b>	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	6/10
<b>Jack et al.,<sup>35</sup> (2022)</b>	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
<b>Vieira de Melo et al.,<sup>36</sup> (2022)</b>	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	6/10
<b>Hughes et al.,<sup>37</sup> (2019)</b>	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
<b>Tramer et al.,<sup>38</sup> (2023)</b>	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	7/10
<b>Hughes et al.,<sup>39</sup> (2019)</b>	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
<b>Iversen et al.,<sup>40</sup> (2016)</b>	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6/10
<b>Otha et al.,<sup>41</sup> (2003)</b>	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí	Sí	4/10

### 3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS EN LA REVISIÓN

#### ➤ Tipo de población

Los pacientes que participaron en los 8 artículos incluidos en esta revisión fueron hombres y mujeres con edades comprendidas entre los 14 y los 59 años, que fueron intervenidos o iban a ser intervenidos quirúrgicamente de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR) con autoinjerto de isquiotibiales (sobre todo del tendón del semitendinoso),

autoinjerto del cuádriceps o hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB).

➤ Variables de estudio e instrumentos de medida

Las variables de estudio principales fueron la fuerza muscular, medida con dinamómetros, la morfología del recto femoral, en el que el volumen se valoró con ecografía, el tiempo de vuelta a la actividad (RTA), que fue medido con pruebas funcionales y escalas como International Knee Documentation Committee (IKDC)<sup>42</sup>, y la valoración autoinformada de la calidad de vida y los síntomas como el dolor de rodilla percibido, valorados con International Knee Documentation Committee (IKDC), la Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)<sup>43</sup> y el cuestionario Lysholm<sup>44</sup>.

La International Knee Documentation Committee (IKDC)<sup>42</sup> valora de forma subjetiva la rodilla considerando la función y los síntomas que tiene en las actividades básicas de la vida diaria. Se puntúa del 0 al 100, indicando 100 la mejor función que se puede dar en una rodilla. La Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)<sup>43</sup> es una herramienta para evaluar la opinión de un paciente sobre su rodilla e incluye subescalas para el dolor, los síntomas, la función en actividades básicas de la vida diaria y la calidad de vida relacionada con la rodilla. Cada subescala se califica de forma independiente, representando los 0 síntomas extremos y el 100 ningún síntoma. Por último, el cuestionario Lysholm<sup>44</sup> evalúa los resultados obtenidos en la cirugía del ligamento de la rodilla, sobre todo los síntomas de inestabilidad. La puntuación que registra varía del 0 al 150, indicando que no hay síntomas la puntuación de 150.

Otras variables importantes en esta revisión fueron el ROM, medido con el goniómetro, la laxitud del ligamento de rodilla, medido con un artrómetro, y los cambios en el área transversal del cuádriceps (ACSA), valorados en una resonancia magnética (RM).

En menor proporción también se tuvieron en cuenta variables como la densidad mineral ósea (DMO), la masa ósea, la masa magra (LM), la circunferencia del cuádriceps, el esfuerzo percibido (RPE) y el control dinámico postural.

➤ Duración del tratamiento

Las intervenciones de los estudios seleccionados tuvieron una duración de entre 2 semanas antes de la cirugía hasta 18 semanas tras la intervención quirúrgica.

➤ Seguimiento

Tras la intervención, tan solo dos estudios refieren un seguimiento posterior. Curran et al.,<sup>34</sup> lo realizó 2 semanas después de completar su intervención y el ensayo de Jack et al.,<sup>35</sup> tuvo un seguimiento promedio de  $2,3 \pm 1$  año.

Los principales resultados obtenidos en los estudios analizados se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultados de los estudios analizados. Elaboración propia

Estudio	Participantes	Diseño	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados	
						Intra-grupo	Inter-grupo
<b>Curran et al.,<sup>34</sup> (2020)</b>	n=34 Pacientes con ACLR, autoinjerto BTB, del tendón del semitendinoso o del cuádriceps. (14-30 años)	ECA GE1=9 GE2=9 GC1=8 GC2=8	Cuidados estándar de rehabilitación (10 primeras semanas tras cirugía). Después. 8 semanas de intervención, con 2 sesiones/semana. GE1=BFR + concéntricos GE2= BFR + excéntricos GC1=ejercicios concéntricos. GC2=ejercicios excéntricos.	Fuerza del cuádriceps  Volumen del recto femoral  RTA	Dinamómetro Biodex System 3  Ultrasonidos GE LOQUIQ  IKDC	No se encuentran diferencias significativas en ninguna de las variables.	No hay diferencias significativas entre los grupos con BFR y sin BFR en ninguna de las variables.
<b>Jack et al.,<sup>35</sup> (2022)</b>	n=32 Pacientes con ACLR, autoinjerto BTB (16-39 años)	ECA GE=17 GC=15	12 semanas de tratamiento con 2 sesiones/semana GE= ejercicios con BFR con oclusión arterial del 80%. GC= mismos ejercicios sin BFR.	DMO, masa ósea y LM  RTA	DEXA (Dual-energy-xray-absorptiometry)  Pruebas funcionales: sentadilla a una pierna, Y-balance, prensa a una pierna y curl de isquiotibiales a una pierna.	GC tuvo disminuciones significativas en LM, masa ósea y DMO en la semana 6 y 12. No hubo diferencias significativas en la masa ósea del GE, aunque sí disminuyó la masa ósea del fémur en la semana 12. Ambos grupos tuvieron mejoras funcionales significativas en RTA.	Hubo diferencias significativas en la masa ósea del fémur, que disminuyó en el GC a las 6 y 12 semanas y en la disminución del RTA en el GE.
<b>Vieira de Melo et al.,<sup>36</sup> (2022)</b>	n=28 Pacientes postoperados con ACLR, autoinjerto de isquiotibial (18-59 años)	ECA GE=14 GC=14	12 semanas de tratamiento, 2 sesiones/semana GE=BFR al 80% de la presión de oclusión total. Prensa de piernas + silla flexora GC= mismos ejercicios sin BFR. 70% de 1RM.	Fuerza muscular  Fuerza isométrica máxima flexores y extensores de rodilla  Función física autoinformada de la rodilla	Dinamómetro isométrico  MICROFET2 (dinamómetro digital de mano)  IKDC y KOOS	Hubo diferencias significativas en el análisis de la función física a favor del GE en el cuestionario de Lysholm y el de IKDC a las 8 y 12 semanas y en el de KOOS a las 4 semanas con respecto a los síntomas y a las 12 semanas con respecto a la calidad de vida.	Se observó diferencias estadísticamente significativas a favor del GE en el aumento de fuerza del cuádriceps a las 12 semanas y en los isquiotibiales a las 8 y 12 semanas. También hubo diferencias significativas a favor del GE con respecto a la mejora de la fuerza isométrica en cuádriceps e isquiotibiales.

<b>Hughes et al.,<sup>37</sup> (2019)</b>	n=28 Pacientes con ACLR, autoinjerto de isquiotibiales (22-36 años)	ECA GE=14 GC=14	8 semanas de entrenamiento, 2 sesiones/semana. Todos con calentamiento de 5 min de bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga con 5 min de descanso. GE= ejercicios de resistencia con BFR con 80% de oclusión. GC= ejercicios de resistencia con cargas elevadas y sin BFR.	Fuerza muscular máxima Morfología de la musculatura Función física autoinformada Control dinámico postural ROM Laxitud del ligamento d	Dinamómetro Biodex System 4 Ultrasonidos LOQUIQ E IKDC, KOOS y escala de Tegner. SEBT Goniómetro Artrómetro KT2000	Entre la pre-cirugía y la post-cirugía se observaron diferencias significativas en ambos grupos con respecto a todas las variables. Hubo diferencias significativas con respecto al aumento de fuerza muscular en ambos grupos y al aumento de la morfología de la musculatura tras 8 semanas de entrenamiento. También hubo diferencias significativas en el aumento del ROM.	No hubo diferencias significativas con respecto a la morfología ni con respecto al ROM, ni a la fuerza de la musculatura. Aunque si hubo diferencias a favor del GE en el aumento de la fuerza la musculatura flexora. Tras el entrenamiento de 8 semanas, hubo diferencias significativas a favor del GE con respecto a las medidas de función autoinformada, control dinámico postural, ROM y reducción del dolor de rodilla.
<b>Tramer et al.,<sup>38</sup> (2023)</b>	n=45 Pacientes con desgarro del LCA antes de que se les realice un ACLR con autoinjerto BTB, del tendón del cuádriceps o de los isquiotibiales. (14-38 años)	ECA GE=23 GC=22	Ejercicios en casa 5 días/semana durante 2 semanas antes de la cirugía. GE= BFR 80% de presión de oclusión. Contracciones de cuádriceps, elevaciones de pierna recta y sentadillas. GC= mismos ejercicios sin BFR.	Fuerza del cuádriceps Función física autoinformada (dolor, depresión y función) ROM Circunferencia del cuádriceps	Dinamómetro de mano VAS y PROMIS Goniómetro Cinta métrica	Tras la intervención hubo diferencias significativas en ambos grupos sobre la pérdida de fuerza muscular en la pierna operada en comparación con la no operada y en la mejora de la fuerza de ambos grupos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en cuanto a la circunferencia del cuádriceps operado con respecto al no operado.	No hubo diferencias significativas en ninguna de las variables.
<b>Hughes et al.,<sup>39</sup> (2019)</b>	n=28 Pacientes con ACLR, autoinjerto de isquiotibiales (22-36 años)	ECA GE=14 GC=14	8 semanas de entrenamiento, 2 sesiones/semana. Todos con calentamiento de 5 min de bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga con 5 min de descanso.	Dolor de rodilla percibido, dolor muscular y RPE	Escala de Borg	El dolor disminuyó de forma significativa en el GE y en el GC. No hubo diferencias significativas en RPE en ninguno de los grupos,	Hubo diferencias significativas inter-grupo con respecto al dolor de rodilla a favor del GE. El dolor muscular aumentó de forma

			GE= ejercicios de resistencia con BFR con 80% de oclusión. GC= ejercicios de resistencia con cargas elevadas y sin BFR			excepo en la 8ª y 9ª sesión, que hubo un aumento significativo del RPE en ambos grupos.	significativa en GE.
<b>Iversen et al.,<sup>40</sup> (2016)</b>	n=24 Pacientes con ACLR, autoinjerto isquiotibiales (18-40 años)	ECA GE=12 GC=12	Realizada entre el día 2 y 14 tras la cirugía GE= ejercicios con BFR (130-180 mm Hg). 2 sesiones/día. GC= ejercicios sin BFR	ACSA	RM	No hubo diferencias significativas en la disminución de ACSA 2 días antes de la cirugía ni tras la intervención, pero sí las hubo entre el día 2 y 16 tras la cirugía en el GE y en el GC.	No hubo diferencias significativas en ACSA.
<b>Otha et al.,<sup>41</sup> (2003)</b>	n=44 Pacientes con ACLR, autoinjerto del tendón semitendinoso (18-52 años)	ECA GE=22 GC=22	1ª semana ambos grupos hicieron ejercicios sin BFR. Después: GE= BFR con 180 mm Hg de presión más ejercicios. GC= mismos ejercicios sin BFR	Estabilidad anterior de rodilla y ROM  ACSA  Fuerza muscular de la musculatura extensora y flexora de la rodilla  Diámetro de fibra muscular individual	Artrómetro KT2000 del ligamento de la rodilla  RM  Miodinámometro isocinético  Biopsia	No hubo diferencias significativas con respecto al área transversal de la musculatura flexora y extensora de rodilla ni con respecto al diámetro de la fibra muscular antes de la cirugía en el GC y GE, pero sí las hubo tras las 16 semanas en la musculatura femoral del GE pero no en la isquiotibial.	No se encontraron diferencias significativas en el ROM, en la estabilidad de la articulación y en el diámetro de la fibra muscular ni antes ni tras la cirugía. Tampoco hubo diferencias significativas con respecto al área transversal de la musculatura de la rodilla. No hubo diferencias significativas en la fuerza muscular de la musculatura flexora y extensora antes de la cirugía, pero sí las hubo a las 16 semanas tras la cirugía a favor del GE.

*ACLR: reconstrucción del ligamento cruzado anterior. BTB: hueso-tendón rotuliano-hueso. LCA: ligamento cruzado anterior. ECA: ensayo clínico controlado aleatorizado. GE: grupo experimental. GC: grupo control. BFR: restricción del flujo sanguíneo. RTA: tiempo para volver a la actividad completa. DMO: densidad mineral ósea. LM: masa magra. ROM: rango de movimiento. RPE: esfuerzo percibido. ACSA: cambios en el área transversal del cuádriceps. KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score. IKDC: International Knee Documentation Committee. SEBT: Star Excursión Balance Test. RM: resonancia magnética. VAS: escala visual analógica. PROMIS: Patient-Reported Outcome Measurement System.*

Se puede observar que existe una gran variabilidad en los procedimientos y en las herramientas al realizar la medición de las diferentes variables de interés. Por este motivo, se ha realizado una clasificación de los estudios elegidos para mejorar la comprensión de ellos. Estos han sido agrupados según las variables de estudio e instrumentos de medida utilizados, diferenciando 3 grupos:

### **3.3.1. Estudios que tuvieron como variable el tiempo para volver a la actividad**

En dos de los ocho estudios se analizó como variable de estudio el tiempo para volver a la actividad, además de analizar otras variables.

Curran et al.,<sup>34</sup> diseñaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 34 pacientes, con edades comprendidas entre los 14 y 30 años, sometidos a un remplazo del ligamento cruzado anterior (ACLR), con autoinjerto BTB, del cuádriceps o del tendón del semitendinoso. La muestra fue distribuida en cuatro grupos de forma aleatoria. Uno realizó ejercicios concéntricos con entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo (BFR) (n=9), otro realizó ejercicios excéntricos con BFR (n=9), el otro grupo realizó exclusivamente ejercicios concéntricos (n=8) y el último realizaba ejercicios excéntricos (n=8). La intervención consistía en realizar cuidados estándar de rehabilitación las diez primeras semanas tras la cirugía, en las que se pretendía mejorar el dolor e inflamación, aumentar la fuerza del cuádriceps, isquiotibiales y musculatura de la cadera, además de mejorar el equilibrio monopodal y la transición al ejercicio funcional. Después de estos cuidados estándar, se realizaron ocho semanas de intervención, realizando dos sesiones por semana, en las que se harían cinco series de diez repeticiones de prensa unilateral de piernas, cada una con dos minutos de descanso entre series. La primera serie se hizo al 20% del 1RM, a modo de calentamiento, mientras que el resto se hicieron al 70% 1RM. El 1RM es la resistencia máxima que una persona puede hacer en un ejercicio específico y con una única repetición en esa serie, por lo que antes de aplicar una resistencia se debe saber el 1RM o repetición máxima del participante para ajustar la carga de manera individualizada. Los grupos que realizaron los ejercicios con BFR durante estas ocho semanas, lo hicieron con un 80% de oclusión arterial. Se realizó una valoración preoperatoria (2 semanas antes de la cirugía), otra en la preintervención (después de 10 semanas de cuidados estándar tras la cirugía), postintervención (tras dos semanas de completar la intervención de 8 semanas) y a la vuelta a la actividad. Las variables de estudio fueron la fuerza isotónica e isométrica del cuádriceps y la activación de este, el volumen del recto femoral y el tiempo de vuelta a la

actividad (RTA). Los resultados nos mostraron que no se encuentran diferencias significativas inter-grupo en ninguna de las variables desde el periodo preoperatorio al postintervención ni desde el preoperatorio a la vuelta a la actividad. Además, tampoco se observaron diferencias significativas entre los grupos con BFR y sin BFR en ninguna de las variables desde el periodo preoperatorio hasta la postintervención ni desde el preoperatorio a la vuelta a la actividad.

Jack et al.,<sup>35</sup> realizaron un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que 32 pacientes participaron, con edades comprendidas entre los 16 y 39 años, que fueron sometidos a un ACLR con autoinjerto BTB. Los participantes fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos. El grupo experimental (n=17) realizó ejercicios con BFR, con una oclusión arterial del 80%, y el grupo control (n=15) realizó los mismos ejercicios sin BFR. La intervención consistió en realizar 12 semanas de entrenamiento, con dos sesiones por semana, realizando 4 series de 30,15,15,15 repeticiones con 30 segundos de descanso entre serie y serie. Los ejercicios realizados entre la semana 2 y la 5 fueron contracciones de cuádriceps, extensiones de rodilla en cadena cinética cerrada y prensa bilateral de piernas. Por otro lado, los ejercicios realizados entre la semana 6 y la 12 fueron prensa de piernas unilateral, curl de isquiotibiales unilateral, sentadillas con pelota, zancadas y saltos al cajón. Las variables estudiadas fueron la densidad mineral ósea (DMA), la masa ósea, masa magra (LM) y el tiempo para volver a la actividad completa (RTA). En cuanto a los resultados, se observó que el grupo control tuvo disminuciones significativas intra-grupo en LM ( $P<0.01$ ), masa ósea ( $p<0.01$ ) y DMO ( $P<0.05$ ) en la semana 6 y 12. Sin embargo, no hubo diferencias significativas intra-grupo en la masa ósea del grupo experimental, aunque sí disminuyó la masa ósea del fémur en la semana 12 ( $p=0.02$ ). Por otro lado, hubo diferencias significativas inter-grupo en la masa ósea del fémur, que disminuyó en el grupo control a las 6 ( $p<0.03$ ) y 12 semanas ( $p<0.01$ ). Ambos grupos tuvieron mejoras funcionales observándose diferencias significativas inter-grupo en la disminución del RTA en el grupo experimental ( $p=0.01$ ).

### **3.3.2. Estudios que tuvieron como variable la función física autoinformada de la rodilla, considerando síntomas como el dolor**

En cuatro de los ocho artículos se analizó como variable de estudio la función física autoinformada de la rodilla considerando síntomas como el dolor, además de analizar otras variables.

Vieira de Melo et al.,<sup>36</sup> llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado y controlado en 28

pacientes, con edades comprendidas entre los 18 y 59 años, intervenidos de ACLR con autoinjerto de isquiotibiales. Los participantes fueron asignados de forma aleatoria en dos grupos diferentes. La intervención se llevó a cabo dos veces por semana durante doce semanas. El grupo experimental (n=14) realizó cuatro series de prensa de piernas más silla flexora añadiendo BFR con un 80% de la presión de oclusión total, teniendo la primera serie 30 repeticiones y el resto 15, con dos segundos de contracción concéntrica y dos segundos de contracción excéntrica, descansando 30 segundos entre serie. Por otro lado, el grupo control (n=14) realizó los mismos ejercicios sin BFR y con el 70% de 1RM, realizando tres series de diez repeticiones cada una. Se realizó una valoración a las 4, 8 y 12 semanas tras la valoración inicial. Las variables que se tuvieron en cuenta fueron la fuerza muscular, la fuerza isométrica máxima de flexores y extensores de rodilla y la función física autoinformada de la rodilla. Como resultados se observaron diferencias estadísticamente significativas inter-grupo a favor del grupo experimental en el aumento de fuerza del cuádriceps ( $p<0.01$ ) a las 12 semanas y en los isquiotibiales ( $p<0.01$ ) a las 8 y 12 semanas. También hubo diferencias significativas inter-grupo a favor del grupo experimental con respecto a la mejora de la fuerza isométrica en cuádriceps e isquiotibiales. Por otro lado, hubo diferencias significativas en el análisis de la función física a favor del grupo experimental en el cuestionario de Lysholm ( $p<0.01$ ) a las 8 y 12 semanas, en el cuestionario de IKDC ( $p<0.01$ ) tras 8 y 12 semanas y en el de KOOS ( $p<0.01$ ) a las 4 semanas con respecto a los síntomas y a las 12 semanas con respecto a la calidad de vida. Sin embargo, no hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto a los cuestionarios de función de la rodilla antes de la intervención quirúrgica.

Hughes et al.,<sup>37</sup> publicaron un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que participaron 28 pacientes, con edades comprendidas entre los 22 y los 36 años, que fueron intervenidos de un ACLR con autoinjerto de isquiotibiales. Los participantes fueron clasificados de forma aleatoria en dos grupos. El grupo experimental (n=14) y el grupo control (n=14) realizaron 8 semanas de entrenamiento con dos sesiones por semana. Primero realizaron un calentamiento de 5 minutos en bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga y 5 minutos de descanso. Después, el grupo experimental realizó ejercicios de prensa de piernas unilateral con BFR al 80% de oclusión, llevando a cabo 4 series de 30, 15, 15 y 15 repeticiones, al 30% del 1RM y con 30 segundos de descanso. Por otro lado, el grupo control realizó tres series de 10 repeticiones de prensa de piernas unilateral al 70% del 1RM sin BFR. Se valoró a los participantes antes de la cirugía, tras la cirugía (semana 0), en la semana 4 y 5 de entrenamiento y tras finalizar el entrenamiento (9ª semana). Las variables que se tuvieron en cuenta fueron la fuerza muscular máxima isotónica, la

morfología del vasto lateral (grosor, ángulo de penación y longitud del fascículo), la función física autoinformada de la rodilla, el rango de movimiento (ROM) y la circunferencia del cuádriceps. Tras 8 semanas de entrenamiento, hubo diferencias significativas intra-grupo ( $p < 0.01$ ) con respecto al aumento de fuerza muscular en ambos grupos, pero no hubo diferencias significativas inter-grupo ( $p = 0.22$ ). También hubo diferencias significativas intra-grupo en ambos grupos con respecto a la disminución de la fuerza de la musculatura extensora de rodilla desde la pre-cirugía y la post-cirugía, pero no hubo diferencias significativas inter-grupo. Sin embargo, sí hubo diferencias significativas inter-grupo a favor del grupo experimental con respecto al aumento de la fuerza la musculatura flexora ( $p < 0.01$ ). Además, hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto al aumento de flexión y extensión de rodilla en ambos grupos, pero no hubo diferencias significativas inter-grupo. Por otro lado, hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto a la disminución del grosor muscular, del ángulo de penación y la longitud del fascículo en ambos grupos en la cirugía y un aumento de estas variables tras las 8 semanas de entrenamiento. Sin embargo, no hubo diferencias significativas inter-grupo. Entre la pre-cirugía y la post-cirugía se observaron diferencias significativas en ambos grupos con respecto a la disminución de todas las variables de función física autoinformada, del control dinámico postural, del ROM, de la laxitud del ligamento y el aumento del dolor, sin observarse diferencias inter-grupo. Sin embargo, tras el entrenamiento de 8 semanas, hubo diferencias significativas inter-grupo a favor del grupo experimental con respecto a las medidas de función física autoinformada, control dinámico postural, ROM y reducción del dolor de rodilla.

Tramer et al.,<sup>38</sup> realizaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 45 pacientes, con edades comprendidas entre los 14 y 38 años, que tenían un desgarro del LCA e iban a ser intervenidos de un ACLR con autoinjerto BTB, del tendón del cuádriceps o de los isquiotibiales. Los participantes fueron divididos en dos grupos de forma aleatoria. Tanto el grupo experimental ( $n = 23$ ) como el grupo control ( $n = 22$ ) realizaron ejercicios en casa 5 días a la semana durante dos semanas antes de someterse a la cirugía. Los ejercicios fueron contracciones de cuádriceps, elevación de una pierna recta y sentadillas, realizando cuatro series de 30, 15, 15 y 15 repeticiones. descansando 30 segundos entre series. En el grupo experimental fueron realizados con BFR al 80% de oclusión y en el grupo control se realizaron los mismos ejercicios sin BFR. Las variables que se tuvieron en cuenta fueron la fuerza del cuádriceps, la función física autoinformada de la rodilla, el ROM y la circunferencia del cuádriceps. En la primera visita no hubo diferencias significativas intra-grupo ni inter-grupo en ninguna de las variables. Tras dos semanas de ejercicios

preoperatorios en casa, hubo diferencias significativas en ambos grupos sobre la pérdida de fuerza muscular en la pierna operada en comparación con la no operada ( $p < 0.05$ ). También hubo diferencias significativas intra-grupo en la mejora de la fuerza de ambos grupos tras las dos semanas de entrenamiento con respecto a la valoración inicial. Sin embargo, no hubo diferencias significativas inter-grupo en esta variable. Tras esas dos semanas, tampoco hubo diferencias significativas intra-grupo en ningún grupo en cuanto a la circunferencia del cuádriceps operado con respecto al no operado.

Hughes et al.,<sup>39</sup> llevaron a cabo un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que participaron 28 pacientes, con edades comprendidas entre los 22 y los 36 años, que fueron intervenidos de un ACLR con autoinjerto de isquiotibiales. Los participantes fueron clasificados de forma aleatoria en dos grupos. El grupo experimental ( $n=14$ ) y el grupo control ( $n=14$ ) realizaron 8 semanas de entrenamiento con dos sesiones por semana. Primero realizaron un calentamiento de 5 minutos en bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga y 5 minutos de descanso. Después, el grupo experimental realizó ejercicios de prensa de piernas unilateral con BFR al 80% de oclusión, llevando a cabo 4 series de 30, 15, 15 y 15 repeticiones, al 30% del 1RM y con 30 segundos de descanso. Por otro lado, el grupo control realizó tres series de 10 repeticiones de prensa de piernas unilateral al 70% del 1RM sin BFR. Las variables que se tuvieron en cuenta fueron el dolor de rodilla percibido, el dolor muscular y el esfuerzo percibido (RPE). En cuanto a los resultados, el dolor de rodilla disminuyó de forma significativa intra-grupo en el grupo experimental a partir de la 4ª sesión ( $p < 0.01$ ) y en el grupo control lo hizo a partir de la 6ª sesión ( $p < 0.05$ ), existiendo además diferencias significativas inter-grupo a favor del grupo experimental ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, hubo diferencias significativas a favor del grupo experimental en la disminución del dolor tras el entrenamiento ( $p < 0.01$ ). También hubo diferencias significativas intra-grupo en las que disminuyó el dolor tras el entrenamiento a partir de la 3ª sesión en el grupo experimental y en el grupo control ( $p < 0.05$ ). El dolor muscular aumentó de forma significativa inter-grupo ( $p < 0.05$ ) en el grupo experimental. Además, hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto la disminución del dolor muscular a partir de la 15ª sesión en el grupo control y en el experimental ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, no hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto al RPE en ninguno de los grupos, excepto en la 8ª y 9ª sesión, que hubo un aumento significativo del RPE en ambos grupos ( $p < 0.05$ ).

### **3.3.3. Estudios que tuvieron como variable los cambios en el área transversal del cuádriceps**

En dos de los ocho estudios se analizó como variable de estudio los cambios en el área transversal del cuádriceps, además de otras variables.

Iversen et al.,<sup>40</sup> realizaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 24 pacientes, con edades comprendidas entre los 18 y los 40 años, que fueron sometidos a un ACLR con un autoinjerto de isquiotibiales. Los participantes fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos. El grupo experimental (n=12) realizó ejercicios con BFR y una presión de 130-180 mm Hg, entre el día 2 y el 14 tras la cirugía. Los ejercicios consistían en realizar en casa isométricos de cuádriceps, extensiones de piernas sobre rulo y elevaciones de pierna recta, ejecutando 5 series de 20 repeticiones cada una, dos veces al día. El grupo control (n=12) realizó los mismos ejercicios sin BFR. Se realizó una valoración el día 5 y el día 10 tras la cirugía, considerando como variable de estudio los cambios en el área transversal del cuádriceps (ACSA). En cuanto a los resultados, no hubo diferencias significativas intra-grupo en la disminución de ACSA dos días antes de la cirugía ni tras la intervención. Entre el día 2 y 16 tras la cirugía, si hubo diferencias significativas intra-grupo en la reducción de ACSA, tanto en el grupo experimental ( $p < 0.0001$ ) como en el grupo control ( $P < 0.0001$ ). No hubo diferencias significativas inter-grupo en ACSA. Tampoco hubo diferencias significativas intra-grupo en esta variable entre hombres ni mujeres del grupo control y del experimental.

Otha et al.,<sup>41</sup> llevaron a cabo un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en 44 pacientes, con edades comprendidas entre los 18 y los 52 años, que fueron sometidos a un ACLR con autoinjerto del tendón semitendinoso. Los participantes fueron divididos en dos grupos de forma aleatoria, realizando una intervención de 16 semanas. Durante la primera semana de intervención, ambos grupos realizaron ejercicios sin BFR. A partir de la primera semana el grupo experimental (n=22) realizó ejercicios con BFR y con una presión de 180 mm Hg. Entre la 1ª y la 8ª semana los ejercicios fueron aducción de cadera con pelota, extensión de cuádriceps, elevación de pierna estirada, abducción de cadera manteniendo 5 segundos sin carga (1ª semana), 1 kg (2ª-4ª semana) y 2kg (5ª-8ª semana). Todos ellos realizando dos series de 20 repeticiones, durante 6 veces por semana. Además, en este periodo también realizaron media sentadilla 20 veces durante 6 segundos, step-up con taburete de 25 cm sin carga y con 4-6 kg en la 7ª semana, ejecutando 2 series de 20 repeticiones y 3 series de 20 repeticiones entre la 5ª y la 16ª semana. A partir de la 9ª y hasta la 12ª semana se realizó step-up con 8-10 kg y ejercicios de tubo elástico doblando la rodilla 45-100°, 20 repeticiones, 6 veces por semana. Por último, desde la 13ª semana a la 16ª semana se realizó step-up con

12-14 kg, ejercicios de tubo elástico, 2 series de 20 repeticiones, y ejercicios de caminar flexionando rodillas, 3 series de 60 pasos cada una, durante 6 veces por semana. El grupo control (n=22) realizó los mismos ejercicios sin BFR. Las variables que se midieron fueron la estabilidad anterior de rodilla y el rango de movimiento, el área de sección transversal en la musculatura femoral, la fuerza muscular de la musculatura extensora y flexora de rodilla y el diámetro de la fibra muscular individual. Como resultados, no se encontraron diferencias significativas inter-grupo en el rango de movimiento y la estabilidad de la articulación tanto antes como tras la cirugía. Tampoco hubo diferencias significativas inter-grupo ni intra-grupo con respecto al área transversal de la musculatura flexora y extensora de rodilla antes de la cirugía en el grupo control y experimental. Se encontraron diferencias significativas intra-grupo tras las 16 semanas después de la cirugía en la sección transversal de la musculatura femoral del grupo experimental ( $p=0.04$ ) pero no en la isquiotibial. Por otro lado, no hubo diferencias significativas inter-grupo con respecto a la fuerza muscular de la musculatura flexora y extensora antes de la cirugía, pero sí las hubo a las 16 semanas tras la cirugía a favor del grupo experimental ( $p<0.05$ ). Tampoco hubo diferencias significativas intra-grupo ni inter-grupo con respecto al diámetro de la fibra muscular ni antes y ni tras la cirugía.

#### **4. DISCUSIÓN**

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue valorar la efectividad del entrenamiento BFR en la potenciación muscular de la rodilla tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. También se pretendía identificar los efectos del entrenamiento con BFR con respecto a otras intervenciones sin BFR. Para ello, se llevó a cabo un análisis completo de 8 estudios seleccionados en las distintas bases de datos. Tras observar los resultados obtenidos en cada ensayo se han obtenido diferentes efectos según la variable estudiada.

Tras la reconstrucción del LCA se produce una disminución de la fuerza y un aumento de la atrofia muscular, requiriéndose de 4 a 6 meses para que el injerto madure y pueda tolerar carga<sup>45</sup>. Por lo tanto, durante este periodo no se recomienda usar altas cargas debido al riesgo de rotura del ligamento y a la posible mala remodelación del injerto, dando como resultado una mayor laxitud del injerto del LCA<sup>46,47</sup>. El entrenamiento con BFR se puede combinar con cualquier ejercicio realizado tradicionalmente en la rehabilitación del LCA usando el 20-30% del 1RM del paciente. Al usar cargas bajas no se provoca tanto estrés mecánico, por lo que se

consigue aumentar la fuerza de estos pacientes<sup>36,37,38,41</sup> y disminuir el riesgo de una posible ruptura del ligamento.

Los estudios analizados<sup>36,37,41</sup> concuerdan con el ensayo de Noyes et al.,<sup>48</sup>, ya que afirman que el entrenamiento con BFR mejoró de forma significativa la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales tras 9 y 18 sesiones. Otras investigaciones indican que la fuerza muscular aumenta independientemente de si se usa un entrenamiento con BFR o sin BFR<sup>38,49,50</sup>. Aun así, se debe tener en cuenta que el estudio de Tramer et al.,<sup>38</sup> fue el único que realizó una intervención con BFR antes de que el paciente se sometiera al ACLR, y sus resultados están en línea con la investigación de Grapar Zargi et al.,<sup>51</sup>. Ambos afirman que el preacondicionamiento a corto plazo con ejercicios BFR de baja intensidad no muestra efectos diferentes que el entrenamiento sin BFR en cuanto al aumento de masa muscular o a la funcionalidad de la rodilla en los pacientes sometidos a reconstrucción del LCA. Por otro lado, Carrant et al.,<sup>34</sup> fueron los únicos que usaron una resistencia de alta intensidad (70% de 1RM) al realizar el entrenamiento con BFR, y quizás esto pueda explicar la controversia que existe con respecto a los resultados obtenidos en el resto de los artículos. Según la investigación de Lixandrão et al.,<sup>52</sup>, el entrenamiento con BFR es efectivo para la mejora de la fuerza muscular cuando el ejercicio de resistencia se realiza a intensidades muy bajas (20% del 1RM) y puede que por esto Carrant et al.,<sup>34</sup> no observaron diferencias significativas en la mejora de la fuerza muscular tras un entrenamiento con BFR.

Si consideramos variables como la función física autoinformada de la rodilla y síntomas como el dolor, en algunos ensayos se muestran unos mejores resultados al realizar un entrenamiento con BFR tras una intervención de ACLR<sup>36,37,39</sup>. Esta mejora también se observó en otras investigaciones con pacientes que padecían osteoartritis de rodilla y que realizaron un entrenamiento con BFR para la mejora de sus síntomas<sup>53,54</sup>. Sin embargo, en el estudio de Tramer et al.,<sup>38</sup> no encontraron diferencias significativas en esta variable. Esto puede deberse a que el entrenamiento fue realizado 2 semanas antes de la cirugía mientras que el resto lo realizaron tras el ACLR<sup>36,37,39</sup>. La aplicación de BFR en la fase postoperatoria temprana es beneficiosa para la mejora de la función física de los pacientes. El dolor disminuye de forma significativa cuando se realiza BFR, ya que la carga que se suele usar es del 30% del 1RM en comparación con la carga del 70% del 1RM que se debe utilizar si no se realiza BFR. El usar cargas más bajas ayuda a que no aparezcan síntomas dolorosos ni demasiada tensión en la articulación durante el entrenamiento<sup>54,55</sup>. Por ello, durante este periodo postoperatorio, el ejercicio de alta intensidad no está recomendado, siendo

beneficioso el uso de un entrenamiento con BFR antes de realizar los ejercicios de alta intensidad, sobre todo si hay dolor o si no se toleran cargas altas<sup>56</sup>.

El tiempo para volver a la actividad fue otra de las variables estudiadas en algunos de los artículos incluidos en esta revisión<sup>34,35</sup>. Carrant et al.,<sup>34</sup> no encontraron diferencias significativas en esta variable mientras que Jack et al.,<sup>35</sup> sí que las obtuvieron tras 6 y 12 semanas de intervención en el grupo experimental. Esto puede deberse a la alta intensidad que usaron Carrant et al.,<sup>34</sup> al llevar a cabo el entrenamiento con BFR y a la tardanza en aplicar esta intervención después de 10 semanas tras el ACLR, mientras que Jack et al.,<sup>35</sup> realizaron la intervención a intensidades bajas y justo después de la cirugía.

Además, el ROM fue evaluado en 3 de los 8 artículos, observándose discrepancias. Hubo un aumento significativo del ROM de rodilla en uno de los estudios<sup>37</sup>, al igual que en el ensayo de Ke et al.,<sup>57</sup>, donde también se observó un aumento significativo del ROM de rodilla tras una intervención con BFR en pacientes intervenidos de una meniscectomía parcial artroscópica. Sin embargo, Tramer et al.,<sup>38</sup> y Otha et al.,<sup>41</sup> no observaron diferencias significativas en esta variable.

Por último, el área transversal del cuádriceps fue analizada en dos estudios como variable principal sin encontrarse diferencias significativas<sup>40,41</sup>. Estos resultados no concuerdan con el estudio de Takarada et al.,<sup>24</sup>, en el que se observa una disminución significativa del área transversal del cuádriceps del grupo control que realizó entrenamiento sin BFR tras la reconstrucción del LCA. Tampoco están en línea con la investigación de Mattar et al.,<sup>58</sup> que notificaron un aumento del área transversal del cuádriceps tras una intervención de 12 semanas con BFR en pacientes con polimiositis y dermatomiositis. Esto puede ser debido a la cantidad de presión de oclusión utilizada en el manguito a la hora de realizar la restricción del flujo sanguíneo. Iversen et al.,<sup>40</sup> y Otha et al.,<sup>41</sup> usaron una presión determinada y no la adaptaron a cada participante, mientras que Takarada et al.,<sup>24</sup>, y Mattar et al.,<sup>58</sup> personalizaron esta presión teniendo en cuenta las características de cada paciente. Se ha demostrado que la presión de oclusión adecuada debe basarse en la circunferencia del muslo<sup>59</sup> y que debe tenerse en consideración el tipo de manguito, ya que cuanto más ancho sea menos presión requiere<sup>60</sup>.

#### **4.1. LIMITACIONES**

Al realizar esta revisión sistemática hemos encontrado algunas limitaciones. El tamaño de la muestra de los ensayos analizados fue bajo y las intervenciones no tuvieron un seguimiento a largo plazo. Por lo tanto, serían necesarias más investigaciones con un tamaño muestral

mayor y un seguimiento adecuado a largo plazo.

Por otro lado, los estudios usaron diferentes tipos de injertos a la hora de realizar la reconstrucción quirúrgica del LCA. Esto aumenta la variabilidad de la población y la rehabilitación que los pacientes puedan haber recibido. En futuras investigaciones es necesario comprender si el tipo de injerto influye en cómo los pacientes responden al entrenamiento con BFR.

Por último, los participantes no fueron cegados en ninguno de los artículos a la hora de ser asignados al grupo de intervención puesto que era éticamente imposible.

## **5. CONCLUSIÓN**

Tras el análisis realizado de los artículos incluidos en esta revisión se puede concluir que existe una evidencia moderada sobre la efectividad del entrenamiento BFR para la mejora de la fuerza de la musculatura flexora y extensora de rodilla en comparación con el entrenamiento sin BFR, siempre que se realice tras la reconstrucción quirúrgica del ligamento cruzado anterior y con intensidades bajas. También hay una evidencia sólida sobre la mejora de la sintomatología y la funcionalidad de la rodilla si se realiza el entrenamiento BFR tras la cirugía. No hay evidencia suficiente de que el de entrenamiento con BFR sea efectivo en ninguna de las variables si se lleva a cabo antes de la cirugía o si se realiza con intensidades altas. Además, existe una evidencia insuficiente con respecto a la reducción del tiempo para volver a la actividad completa con el entrenamiento con BFR. Por otro lado, hay una evidencia sólida de que el entrenamiento con BFR, con presiones de oclusión sin individualizar, no es más efectivo para aumentar el área transversal del cuádriceps que el entrenamiento sin BFR. En cuanto al ROM, hay discrepancias entre los distintos ensayos estudiados, por lo que no se puede afirmar que sea más efectivo un tipo de entrenamiento u otro, considerando que hay una evidencia insuficiente.

Para finalizar, cabe decir que se necesitan más investigaciones con un mayor tamaño muestral, con un seguimiento adecuado y con alta calidad metodológica, para así poder ser más precisos a la hora de valorar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en la atrofia muscular tras la rotura del ligamento cruzado anterior.

## 6. REFERENCIAS

1. Colombet P, Robinson J, Christel P, et al. Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy*. 2006
2. Iriuchishima T, Goto B. Systematic Review of Cadaveric Studies on Anterior Cruciate Ligament Anatomy Focusing on the Mid-substance Insertion and Fan-like Extension Fibers. *Indian J Orthop*. 2022 Jul 18;56(9):1525-1532.
3. Petersen W, Tillmann B. Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes [Anatomy and function of the anterior cruciate ligament]. *Orthopade*. 2002 Aug;31(8):710-8.
4. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Curr Sports Med Rep*. 2014 May-Jun;13(3):186-91.
5. 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*. 2021 Apr 6;18(7):3826.
6. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. *Am J Sports Med*. 2006 Feb;34(2):299-311.
7. Márquez Arabia, J. J., & Márquez Arabia, W. H. (2009). Lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla. *IATREIA*, 22(3), 256–271.
8. Kohn L, Rembeck E, Rauch A. Verletzung des vorderen Kreuzbandes beim Erwachsenen: Diagnostik und Therapie [Anterior cruciate ligament injury in adults: Diagnostics and treatment]. *Orthopade*. 2020 Nov;49(11):1013-1028.
9. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006 Mar;14(3):204-13.
10. Stone AV, Marx S, Conley CW. Management of Partial Tears of the Anterior Cruciate Ligament: A Review of the Anatomy, Diagnosis, and Treatment. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021 Jan 15;29(2):60-70.
11. Zhao GL, Lyu JY, Liu CQ, Wu JG, Xia J, Huang GY. A modified anterior drawer test for anterior cruciate ligament ruptures. *J Orthop Surg Res*. 2021 Apr 14;16(1):260.
12. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of

- anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2019 Feb;33(1):33-47.
13. Kruse LM, Gray B, Wright RW. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012 Oct 3;94(19):1737-48.
  14. Mehran N, Damodar D, Shu Yang J. Quadriceps Tendon Autograft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg*. 2020 Jan 15;28(2):45-52.
  15. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft Selection in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2020 Jun;28(2):41-48.
  16. Paschos NK, Howell SM. Anterior cruciate ligament reconstruction: principles of treatment. *EFORT Open Rev*. 2017 Mar 13;1(11):398-408.
  17. Carter HM, Littlewood C, Webster KE, Smith BE. The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020 Oct 3;21(1):647.
  18. Yabroudi MA, Irrgang JJ. Rehabilitation and return to play after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med*. 2013 Jan;32(1):165-75.
  19. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, et al. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):687-708.
  20. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, Morrison S. Blood Flow Restriction Training. *J Athl Train*. 2021 Sep 1;56(9):937-944.
  21. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *Am J Sports Med*. 2021 Jun;49(7):1938-1944.
  22. Bobes Álvarez C, Issa-Khozouz Santamaría P, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero S, Martínez-Amat A, Gallego-Izquierdo T. Comparison of Blood Flow Restriction Training versus Non-Occlusive Training in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction or Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2020 Dec 27;10(1):68.
  23. 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 Apr 1;17(3):334-346.
  24. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse

- atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Dec;32(12):2035-9.
25. Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther.* 2020 Dec;15(6):882-891.
26. Barber-Westin S, Noyes FR. Blood Flow-Restricted Training for Lower Extremity Muscle Weakness due to Knee Pathology: A Systematic Review. *Sports Health.* 2019 Jan/Feb;11(1):69-83.
27. Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and Postoperative Factors Influence Quadriceps Atrophy and Strength After ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2020 Jun 30;8(6):2325967120930296.
28. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. *Annals of internal medicine.* 2009;151(4):264-69.
29. Higgins JPT, Altman DG., Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2011;243:d5928-d5928.
30. Higgins JPT, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Intervention* Version 5.1.0 [Updated March 2011]; The Cochrane Collaboration: London, UK, 2011.
31. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: physiotherapy evidence database (PEDro) scale. *J Physiother.* 2020; 66(1):59.
32. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Aust J Physiother.* 2009;55(2):129-33.
33. Van Tulder M, Furlan A, Bombardier C, Bouter L. Updated Method Guidelines for Systematic Reviews in the Cochrane Collaboration Back Review Group. *Spine.* 2003;28(12):1290-9.
34. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2020 Mar;48(4):825-837.
35. Jack RA 2nd, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports Health.* 2022 Jun 27:19417381221101006.

36. Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength after Exercises with and without Blood Flow Restriction following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *J Rehabil Med.* 2022 Nov 1;54:jrm00337.
37. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, Ferris G, Dawes J, Paton B, Patterson SD. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. *Sports Med.* 2019 Nov;49(11):1787-1805.
38. Tramer JS, Khalil LS, Jildeh TR, Abbas MJ, McGee A, Lau MJ, Moutzouros V, Okoroha KR. Blood Flow Restriction Therapy for 2 Weeks Prior to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Did Not Impact Quadriceps Strength Compared to Standard Therapy. *Arthroscopy.* 2023 Feb;39(2):373-381.
39. Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, Ferris G, Dawes J, Paton B. Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Phys Ther Sport.* 2019 Sep;39:90-98.
40. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci.* 2016 Mar;5(1):115-118.
41. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand.* 2003 Feb;74(1):62-8.
42. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, et al. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001; 29:600–13.
43. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Ross EM. Measures of knee function: international knee documentation committee (IKDC) subjective knee evaluation form, knee injury and osteoarthritis outcome score (KOOS), knee injury and osteoarthritis outcome score physical function short form (KOOS-PS). *Arthritis Care Res.* 2011; 63:208–28.
44. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR. The

- reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports Med.* 2009; 37:890–7.
45. Thomas AC, Wojtys EM, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport.* 2016 Jan;19(1):7-11.
  46. Brophy RH, Schmitz L, Wright RW, Dunn WR, Parker RD, Andrich JT, McCarty EC, Spindler KP. Return to play and future ACL injury risk after ACL reconstruction in soccer athletes from the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) group. *Am J Sports Med.* 2012 Nov;40(11):2517-22.
  47. Fujimoto E, Sumen Y, Urabe Y, Deie M, Murakami Y, Adachi N, Ochi M. An early return to vigorous activity may destabilize anterior cruciate ligaments reconstructed with hamstring grafts. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004 Feb;85(2):298-302.
  48. Noyes FR, Barber-Westin SD, Sipes L. Blood Flow Restriction Training Can Improve Peak Torque Strength in Chronic Atrophic Postoperative Quadriceps and Hamstrings Muscles. *Arthroscopy.* 2021 Sep;37(9):2860-2869.
  49. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, Libardi CA, Roschel H. 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 Med.* 2018 Feb;48(2):361-378.
  50. Bembien MG, Mitcheltree KM, Larson RD, Ross D, Cavazos C, Friedlander B, Bembien DA. Can Blood Flow Restricted Exercise Improve Ham:Quad Ratios Better Than Traditional Training? *Int J Exerc Sci.* 2019 Aug 1;12(4):1080-1093.
  51. Grapar Zargi T, Drobic M, Jkoder J, Strazar K, Kacin A. The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016 Jun;52(3):310-20.
  52. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, Tricoli V, Roschel H. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* 2015 Dec;115(12):2471-80.
  53. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, Kurimori CO, Fuller R, Lima FR, DE Sá-Pinto AL, Roschel H. Benefits of Resistance Training with Blood Flow Restriction in Knee

- Osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* 2018 May;50(5):897-905.
54. Bryk FF, Dos Reis AC, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Cury Rde P, Duarte A Jr, Fukuda TY. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016 May;24(5):1580-6.
55. Korakakis V, Whiteley R, Giakas G. Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2018 Nov;34:121-128.
56. Ladlow P, Coppack RJ, Dharm-Datta S, Conway D, Sellon E, Patterson SD, Bennett AN. Low-Load Resistance Training With Blood Flow Restriction Improves Clinical Outcomes in Musculoskeletal Rehabilitation: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *Front Physiol.* 2018 Sep 10;9:1269.
57. Ke J, Zhou X, Yang Y, Shen H, Luo X, Liu H, Gao L, He X, Zhang X. Blood flow restriction training promotes functional recovery of knee joint in patients after arthroscopic partial meniscectomy: A randomized clinical trial. *Front Physiol.* 2022 Oct 13;13:1015853.
58. Mattar MA, Gualano B, Perandini LA, Shinjo SK, Lima FR, Sá-Pinto AL, Roschel H. Safety and possible effects of low-intensity resistance training associated with partial blood flow restriction in polymyositis and dermatomyositis. *Arthritis Res Ther.* 2014 Oct 25;16(5):473.
59. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, Bembien DA, Bembien MG. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Aug;112(8):2903-12.
60. Crenshaw AG, Hargens AR, Gershuni DH, Rydevik B. Wide tourniquet cuffs more effective at lower inflation pressures. *Acta Orthop Scand.* 1988 Aug;59(4):447-51.