

**“EFECTOS DEL “BLOOD FLOW RESTRICTION
TRAINING” EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN
DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN
SISTEMÁTICA”**

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Curso 2023-2024

**“EFECTOS DEL “BLOOD FLOW RESTRICTION
TRAINING” EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN
DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN
SISTEMÁTICA”**



**Universidad
Europea**

Autores/as

JOAN BOSCA PARDÓ

JAVIER CATALÁN PORRAS

Tutor/a

AMAYA MARÍA DE AGUINAGA FLOREZ DE LOSADA

Valencia, 2024

**“EFECTOS DEL “BLOOD FLOW RESTRICTION TRAINING”
EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN DEL
LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN
SISTEMÁTICA”**

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR:

JOAN BOSCA PARDÓ

JAVIER CATALÁN PORRAS

TUTOR/A DEL TRABAJO:

AMAYA MARÍA DE AGUINAGA FLOREZ DE LOSADA

FACULTAD DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

VALENCIA

CURSO 2023-2024

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR, ANATOMÍA Y FUNCIÓN	3
1.1.1 Inervación: Propiocepción	3
1.2 MECANISMO LESIONAL.....	4
1.3 PLASTIA, TIPOS Y AFECTACIÓN AL LCA.....	5
1.4 BLOOD FLOW RESTRICTION (BFR)	5
1.5 MECANISMOS FISIOLÓGICOS DEL BFR.....	7
2. HIPÓTESIS	11
3. OBJETIVOS	11
3.1 GENERAL	11
3.2 ESPECÍFICOS	11
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
4.1 DISEÑO Y POBLACIÓN DE ESTUDIO	11
4.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN	13
4.3 ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA	13
4.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ARTÍCULOS	14
5. RESULTADOS	17
5.1 TABLAS RESULTADOS	17
6. DISCUSIÓN.....	23
7. LIMITACIONES Y FORTALEZAS	26
7.1 Limitaciones.....	26
7.2 Fortalezas.....	26
8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	26
9. CONCLUSIONES.....	27
10. BIBLIOGRAFÍA	28

LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Mecanismos de acción y efectos del entrenamiento con el uso de BFR.....	9
Figura 2: Metodología PICO.....	12
Figura 3: Diagrama de flujo sobre la estrategia de búsqueda.....	14
Figura 4: Escala PEDro-Español Physiotherapy Evidence Database.....	15
Figura 5: Escala PEDro-Español Physiotherapy Evidence Database.....	16
Tabla 1: Modelo de prescripción de ejercicio con BFR.....	7
Tabla 2: Criterios de inclusión y exclusión.....	13

LISTADO DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

(ACL (R) (inglés)) = Anterior Cruciate Ligament (Reconstruction)

(AOP (inglés)) = Presión de Oclusión Arterial

BFR (T) (E) = Blood Flow Restriction (Training) (Exercise)

(CONC) = Concéntrico

(EF) = Entrenamiento de Fuerza

(EXC) = Excéntrico

(F) = Femenino

(FTF (inglés)) = Fibras de contracción rápidas

(GC) = Grupo Control

(HL (inglés)) = Cargas altas

(HL-RT (E) (inglés)) = Entrenamiento/Ejercicio de Resistencia de Alta Carga

(IGF -1) = Factor insulínico de crecimiento tipo 1

(M) = Masculino

(MRI (inglés)) = Resonancia Magnética

(REPS) = Repeticiones

(RM) = Repetición Máxima

(R) LCA = (Reconstrucción) Ligamento Cruzado Anterior

(STF (inglés)) = Fibras de contracción lentas

(SLR (inglés)) = Single Leg Raise

(TENS) = Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation

RESUMEN

Contexto y objetivos: El ligamento cruzado anterior (LCA) funciona como un estabilizador clave para la rodilla y es fundamental para los atletas que participan en una variedad de deportes, especialmente deportes multidireccionales con actividades frecuentes de corte, giros y aterrizajes de salto. En general, las rupturas del LCA representan más del 50% de todas las lesiones de rodilla y generalmente requieren tratamiento quirúrgico, lo que resulta en altos costos de atención médica y un gran impacto en el individuo tanto física como mentalmente. Tras esta cirugía de reconstrucción del LCA, los pacientes experimentan una pérdida significativa de la fuerza en las extremidades inferiores debido a la atrofia muscular y la inhibición artrogénica, lo que predispone a futuras lesiones recidivas en la zona asociadas. El *“Blood Flow Restriction Training”* (BFRT) implica una restricción parcial del flujo arterial y restricción total del retorno venoso en la extremidad trabajada durante el ejercicio de baja intensidad, lo que parece ser una buena opción de tratamiento para evitar pérdidas de fuerza, atrofia y controlar el dolor articular, y puede ser utilizado cuando no se recomienda el HL-RE (por ejemplo, rehabilitación postoperatoria, rehabilitación cardíaca, enfermedades inflamatorias y personas mayores frágiles). El objetivo de este trabajo fue analizar la eficacia y efectos del BFRT sobre la fuerza, la atrofia y el dolor articular en pacientes con reconstrucción de LCA.

Material y métodos: Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Pedro y Pubmed. Después de haber filtrado los resultados con criterios de inclusión y exclusión, se analizaron ocho ensayos controlados aleatorizados.

Resultados y discusión: En los estudios analizados (variando la variable en función del ensayo), el BFRT permitió reducir el dolor, disminuir la atrofia causada por la inactividad e inhibición artrogénica, y aumentar los datos de fuerza de una manera significativa. Cabe destacar que no se observan diferencias de mejora con respecto al entrenamiento de resistencia con cargas altas (HL-RT), pero con el BFRT se obtienen buenos resultados en estas variables, existen pocos efectos adversos, no es invasivo, su coste no es alto, y es aplicable a poblaciones con dificultades para realizar un HL-RT. Sin embargo, faltan más estudios para conocer los mecanismos fisiológicos que dan lugar a estas mejoras, para establecer un protocolo estandarizado de aplicación, y que evalúen a los pacientes a largo plazo.

Conclusión: El BFRT tiene muchas ventajas y parece una opción de tratamiento prometedora para pacientes con reconstrucción de LCA. No obstante, en futuros trabajos de investigación, sería interesante profundizar sobre los ajustes de los parámetros para protocolizar y sus efectos terapéuticos como adversos a largo plazo.

Palabras claves: *Ligamento Cruzado Anterior; Reconstrucción; Blood Flow Restriction Training; Fuerza; Atrofia; Dolor.*

ABSTRACT

Context and Objectives: The anterior cruciate ligament (ACL) serves as a key stabilizer for the knee and is crucial for athletes participating in a variety of sports, especially multidirectional sports involving frequent cutting, pivoting, and jump landings. Overall, ACL ruptures account for more than 50% of all knee injuries and typically require surgical treatment, resulting in high healthcare costs and a significant impact on the individual both physically and mentally. Following ACL reconstruction surgery, patients experience significant loss of strength in the lower limbs due to muscle atrophy and arthrogenic inhibition, predisposing them to future recurrent injuries in the associated area. Blood Flow Restriction Training (BFRT) involves partial restriction of arterial flow and total restriction of venous return in the exercised limb during low-intensity exercise, which appears to be a viable treatment option to prevent strength loss, atrophy, and joint pain, and can be used when High-Load Resistance Exercise (HL-RE) is not recommended (e.g., postoperative rehabilitation, cardiac rehabilitation, inflammatory diseases, and frail older adults). The aim of this study was to analyze the efficacy and effects of BFRT on strength, atrophy, and joint pain in patients undergoing ACL reconstruction.

Materials and Methods: A literature search was conducted in the Pedro and PubMed databases. After filtering the results based on inclusion and exclusion criteria, eight randomized controlled trials were analyzed.

Results and Discussion: In the analyzed studies (varying the variable depending on the trial), BFRT allowed for reduced pain, decreased atrophy caused by inactivity and arthrogenic inhibition, and significantly increased strength data. It is noteworthy that there were no observed differences in improvement compared to high-load resistance training (HL-RT), but BFRT yielded good results in these variables, has few adverse effects, is non-invasive, has low cost, and is applicable to populations having difficulties with HL-RT. However, more studies are needed to understand the physiological mechanisms underlying these improvements, to establish a standardized application protocol, and to evaluate patients in the long term.

Conclusion: BFRT has many advantages and appears to be a promising treatment option for patients undergoing ACL reconstruction. Nevertheless, in future research, it would be interesting to delve into parameter adjustments for protocolization and their long-term therapeutic and adverse effects.

Keywords: *Anterior Cruciate Ligament; Reconstruction; Blood Flow Restriction Training; Strength; Atrophy; Pain.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1 LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR, ANATOMÍA Y FUNCIÓN

El LCA (Ligamento Cruzado Anterior) es un ligamento intraarticular que se inserta, distalmente, en el área prespinal de la cara superior de la extremidad proximal de la tibia para terminar, proximalmente, en la porción posterior de la superficie interna del cóndilo femoral externo y está formado por numerosas fibras que absorben las sollicitaciones de tensión durante el arco de movimiento de la rodilla. Este presenta una estructura multi-fibrilar con diferentes fascículos que mantienen tensiones distintas según el grado de flexión de la articulación de la rodilla. Se tensa durante el movimiento de flexo-extensión de la articulación de la rodilla y actúa como una estructura que limita la hiperextensión de la misma y previene el deslizamiento hacia atrás del fémur sobre el platillo tibial. Además, evita la rotación axial excesiva de la tibia sobre el fémur y mantiene la estabilidad en valgo-varo (Forriol et al., 2008).

El ligamento cruzado anterior funciona como un estabilizador clave para la rodilla y es fundamental para los atletas que participan en una variedad de deportes, especialmente deportes multidireccionales con actividades frecuentes de corte, giros y aterrizajes de salto. Las rupturas del LCA se consideran lesiones debilitantes de la rodilla y están entre las lesiones que reciben más atención en medicina deportiva. En general, las rupturas del LCA representan más del 50% de todas las lesiones de rodilla y generalmente requieren tratamiento quirúrgico, lo que resulta en altos costos de atención médica y un gran impacto en el individuo tanto física como mentalmente. La gravedad de esta lesión se ve agravada por la larga recuperación y rehabilitación post-reconstrucción, la pérdida de tiempo en la participación deportiva, la capacidad comprometida para volver al nivel de juego anterior, e incluso puede afectar la decisión de un atleta de continuar jugando después de recuperarse de la cirugía. (Bradsell, H. et al., 2022)

1.1.1 Inervación: Propiocepción

El LCA recibe fibras nerviosas de la rama articular posterior del nervio tibial. Los receptores del nervio son los siguientes:

- Ruffini: sensibles al estiramiento
- Receptores de Golgi: sensibles a la tensión
- Vater-Pacini: sensibles a movimientos rápidos
- Nociceptores: terminaciones nerviosas libres

Estos receptores proporcionan propiocepción y un arco reflejo para el control postural (reflejo del LCA) La activación de mecanorreceptores en la parte proximal del LCA, influye en la actividad motora de la rodilla, a este fenómeno se le conoce como anteriormente hemos comentado "reflejo

del LCA”, que ayuda a tener un mayor sentido de los cambios posturales (joint position sense) (VB Duthon et al., 2007).

La rotura del LCA, que provoca la pérdida de feedback de estos mecanorreceptores, conlleva debilidad muscular (cuádriceps, isquiotibiales y gemelos) y pérdida de coordinación. La pérdida de información aferente de los mecanorreceptores también provoca una pérdida de la contracción máxima voluntaria del cuádriceps/isquiotibiales. (JD Kosy et al., 2017).

Este reflejo no tiene una función protectora, ya que la latencia de contracción de una fuerza considerable es de 110ms, por lo tanto, el reflejo es demasiado lento como para producir una contracción motora que prevenga la lesión. (VB Duthon et al., 2007).

Además, este reflejo parece activar antes cuádriceps que isquiotibiales. (AM Seitz et al., 2021)

Es importante conocer esta inervación para entender qué ocurre en el LCA y la musculatura sinergista durante una lesión.

1.2 MECANISMO LESIONAL

El mecanismo de rotura puede categorizarse en lesiones con contacto y lesiones sin contacto (Takahashi, S. et al., 2019). Las lesiones con contacto son aquellas que se producen por contacto físico con otra persona, ya sea de forma directa o indirecta, y son menos frecuentes en comparación con las lesiones sin contacto (Alentorn Geli et al., 2009). Dentro de las lesiones del LCA por contacto, las lesiones directas son las que involucran un trauma directo en la rodilla, mientras que las lesiones indirectas de LCA son aquellas que involucran un trauma directo a otras partes del cuerpo (Takahashi et al., 2019). En cambio, las lesiones más comunes del LCA, con porcentajes del 70-78%, son sin contacto. Dentro de éstas, el mecanismo de rotura más habitual es la acción de desaceleración con rodilla casi extendida (con o sin perturbación), combinado con rotación dinámica interna en valgo con el peso corporal desplazado sobre la pierna lesionada, y estando la superficie de la planta del pie totalmente plana y fija (Alentorn-Geli et al., 2009).

Según F Della Villa et al., (2020), en las lesiones por mecanismo indirecto, “siempre” se deben dar una suma de factores asociados durante la lesión:

1. Cambio de dirección
2. Valgo dinámico (rotación interna femoral) / pie apoyado en suelo (rotación externa tibial) / rodilla en extensión o hiperextensión.
3. Centro de gravedad posterior y/o lateral a la pierna de apoyo
4. Principio de incertidumbre/perturbación óculo-vestibular

1.3 PLASTIA, TIPOS Y AFECTACIÓN AL LCA

La operación de cirugía plástica, en este caso con el objetivo de devolver las funciones correspondientes al LCA, se conoce comúnmente como plastia (Ayala et al., 2014). Las plastias del LCA suponen una proporción significativa de los procedimientos ortopédicos cotidianos, particularmente debido al creciente número de lesiones deportivas. Existe dos tipos de plastia más utilizadas, una de ellas es el autoinjerto, que requiere la sustitución del LCA con tejido obtenido de otra parte del cuerpo de la persona intervenida (Kulczyka et al., 2015). Se contempla que una de las principales desventajas que presenta este tipo de operación es que está limitado por el tamaño del tejido disponible del paciente (Ayala et al., 2014). La otra plastia utilizada con más frecuencia es el aloinjerto, que requiere la sustitución del LCA con tejido obtenido de los animales, y presenta un tiempo quirúrgico más corto, ya que se ahorran las incisiones y procedimientos quirúrgicos de la obtención de tejido autólogo. Sin embargo, este último tipo de intervención presenta inconvenientes potenciales en lo que respecta a la inmunogenicidad, el riesgo de transmisión de enfermedades y una posible reincorporación más lenta (Ayala et al., 2014). De todos modos, según Kulczyka et al., (2015), no se ha encontrado que estas dos técnicas tengan ninguna diferencia aparente en términos de éxito o tasas de complicaciones. Hay otro tipo de plastias, como las heterólogas o xenoinjertos (provenientes de animales) y las artificiales o injertos sintéticos (prótesis, biológicas o mixtas) las cuales han dejado de utilizarse, ya que no obtienen los mismos resultados que las anteriores (Patinharayil G, 2017).

Según Patinharayil G., (2017), aquellos aspectos que se tienen en cuenta a la hora de seleccionar el tipo de plastia utilizada son; causar la mínima morbilidad del paciente, ser quirúrgicamente simple de insertar, tener métodos confiables de fijación que resistan la rehabilitación agresiva, producir y mantener la estabilización inmediata de la rodilla sin que el dispositivo de fijación del tejido se deslice, no presentar riesgo de infección, ser bio-compatible y no provocar una respuesta inmune, favorecer el crecimiento del tejido, ser biodegradable, y, por último, mantener su función mecánica incluso antes de que vaya a degradarse.

1.4 BLOOD FLOW RESTRICTION (BFR)

Tras la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA), los pacientes experimentan una pérdida significativa de la fuerza en las extremidades inferiores debido a la atrofia muscular y la inhibición artrogénica. La debilidad muscular de los extensores y flexores de la rodilla es sustancial durante las primeras 12 semanas después de la cirugía, lo cual afecta a la función de las extremidades inferiores y la calidad de vida. Esta debilidad muscular puede persistir durante años después de la cirugía de RLCA y está asociada con reducciones crónicas en la función, un alto riesgo de recidiva y degeneración articular. Por lo tanto, es necesario abordar este problema en fases tempranas del proceso de rehabilitación.

El objetivo principal de la rehabilitación de RLCA es devolver al paciente el nivel de función previo a la lesión, con un bajo riesgo de recidiva. Los protocolos de rehabilitación han evolucionado

desde un enfoque basado en la ausencia de carga corporal y dependiente del tiempo de recuperación después de la cirugía, hasta un retorno temprano al rango óptimo de movimiento (ROM), una carga completa del peso y un entrenamiento de fuerza progresivo basado en criterios correctos de prescripción.

Se recomienda el entrenamiento de resistencia de carga pesada (HL-RT) utilizando cargas del 65 al 70% de la repetición máxima de una persona (1RM) para estimular la hipertrofia muscular esquelética y las adaptaciones de la fuerza. Aunque estas cargas pueden ser necesarias para aumentar la fuerza a un nivel satisfactorio, problemas como el daño meniscal y los hematomas óseos pueden contraindicar el HL-RT en pacientes con ACLR con menos tolerancia a altas cargas. (Hughes L, et al., 2019)

Generalmente se ha aceptado que una adaptación significativa al ejercicio de resistencia requiere un entrenamiento de carga moderada o alta, utilizando cargas equivalentes de al menos el 70 % de 1 repetición máxima (1RM). Sin embargo, cada vez hay más pruebas que apoyan el uso del método de restricción del flujo sanguíneo (BFR) combinado con ejercicios de resistencia de baja carga (20–40 % 1RM) para mejorar las respuestas morfológicas y de fuerza (Scott BR, et al., 2015).

El entrenamiento con BFR implica una restricción parcial del flujo arterial y restricción total del retorno venoso en la extremidad trabajada durante el ejercicio de baja intensidad. El uso de la técnica de BFR mediante un torniquete neumático regulado manualmente, implica aplicar una presión externa sobre la musculatura, normalmente utilizando un manguito de aire como torniquete, en la región más proximal de las extremidades superiores y/o inferiores. La mejor práctica actual es medir la presión arterial de la extremidad a ejercitar, que es la presión necesaria para la restricción completa del flujo sanguíneo arterial en la extremidad y prescribir en función de ello la presión relativa a este valor. La compresión sobre la vascularización proximal en la musculatura esquelética, hace que se produzca un suministro inadecuado de oxígeno (hipoxia) dentro del tejido muscular (Scott BR, et al., 2015).

Actualmente no existen recomendaciones estandarizadas para la aplicación de BFR durante el ejercicio de resistencia (Hughes, L., & Patterson, S. D. (2023), pero a continuación aparece uno de los protocolos más utilizados (Tabla 1).

TABLE 1 | Model of exercise prescription with BFR-RE.

	Guidelines
Frequency	2–3 times a week (>3 weeks) or 1–2 times per day (1–3 weeks)
Load	20–40% 1RM
Restriction time	5–10 min per exercise (reperfusion between exercises)
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/uni or bilateral)
Sets	2–4
Cuff	5 (small), 10 or 12 (medium), 17 or 18 cm (large)
Repetitions Pressure	(75 reps) – 30 × 15 × 15 × 15, or sets to failure 40–80% AOP
Rest between sets	30–60 s
Restriction form	Continuous or intermittent
Execution speed	1–2 s (concentric and eccentric)
Execution	Until concentric failure or when planned rep scheme is completed

Tabla 1. “Artículo de Patterson S.D. et al., 2019”

(AOP = Presión de Oclusión Arterial)

1.5 MECANISMOS FISIOLÓGICOS DEL BFR

Los mecanismos fisiológicos subyacentes de las adaptaciones musculares mediadas por la restricción del flujo sanguíneo todavía no se comprenden bien. Varios estudios previos han demostrado que el entrenamiento con BFR activa cascadas de señalización anabólica intracelular y células satélite. Sin embargo, no está claro cuál es el disparador exacto. Las altas tensiones mecánicas, como las involucradas en el entrenamiento de fuerza tradicional con altas cargas mecánicas, así como el microtrauma asociado a los músculos, es poco probable que ocurran durante el entrenamiento con BFR y, en consecuencia, no se consideran señales anabólicas centrales.

Comparativamente, desde temprano, se observó que el ejercicio con BFR estaba asociado con niveles significativamente aumentados de la hormona del crecimiento (hGH) después del ejercicio. Por ejemplo, Takarada et al., (2000) describieron que después de solo cinco series de baja carga (20% de una repetición máxima [1 RM], 20 repeticiones) en el extensor de piernas, la concentración de hGH aumentó 290 veces desde los niveles de reposo en condiciones de BFR. La comprensión actual es que estos aumentos son causados por la acumulación de metabolitos (por ejemplo, lactato, H⁺, y K⁺), lo cual es particularmente pronunciado bajo las condiciones hipóxicas del BFR. Sin embargo, la importancia de las mejoras agudas inducidas por el ejercicio

de las hormonas anabólicas para el crecimiento muscular está en discusión hasta la fecha. Además, actualmente se cree que, aunque la hGH en sí misma induce efectos anabólicos en el músculo, el efecto principal se media a través de la IGF-1 (factor insulínico de crecimiento tipo 1) liberada por el hígado. Sin embargo, los resultados sobre los aumentos de IGF-1 inducidos por BFR son muy heterogéneos. De manera similar, la testosterona anabólica no siempre parece aumentar después del entrenamiento con BFR. Por lo tanto, la evidencia de que las hormonas anabólicas son responsables de la hipertrofia inducida por BFR debe considerarse baja.

Otra hipótesis es que los efectos son inducidos por un patrón de reclutamiento neuromuscular alterado. Por ejemplo, se sabe que, bajo condiciones fisiológicas, el cuerpo recluta inicialmente fibras musculares de contracción lenta (STF, por sus siglas en inglés) a bajas resistencias y solo agrega fibras de contracción rápida (FTF, por sus siglas en inglés) a medida que aumenta la carga. Este patrón de reclutamiento se refiere como el principio del orden de tamaño de Henneman (1957). Sin embargo, debido a la reducción del flujo sanguíneo, la fatiga prematura de las STF ocurre y el músculo se ve presionado a reclutar FTF a pesar de la baja resistencia para contrarrestar la reducción de la fuerza. Sin embargo, Suga et al., quienes investigaron el reclutamiento de FTF utilizando espectroscopia de resonancia magnética de ^{31}P , encontraron reclutamiento de FTF en solo un tercio de los sujetos que hacían ejercicio con BFR (al 20% de su 1 RM individual). En comparación, más de dos tercios de los sujetos que entrenaron sin BFR pero al 65% de su 1 RM reclutaron fibras FTF. En consecuencia, es poco probable que un patrón de reclutamiento alterado sea la única explicación para los efectos mediados por BFR.

También es concebible que los metabolitos mismos induzcan efectos anabólicos. Por ejemplo, estudios en animales han mostrado que el lactato puede estimular el crecimiento muscular, lo cual no pudo confirmarse en estudios en humanos. Además, se ha discutido que la hinchazón celular inducida por BFR también podría ser otro desencadenante posible de las cascadas de señalización anabólica. Según esta teoría, el desplazamiento de fluidos hacia la célula muscular desencadenado por la acumulación intracelular de metabolitos debería ejercer presión desde el interior contra el citoesqueleto y así aumentar la síntesis de proteínas musculares. Sin embargo, hasta ahora también faltan resultados convincentes sobre esta teoría. En general, los mecanismos de las adaptaciones musculares esqueléticas inducidas por el entrenamiento con BFR aún son en gran parte desconocidos y se necesitan más estudios fundamentales.



Figura 1. Mecanismos de acción y efectos del entrenamiento con el uso de BFR

Los aumentos en la hipertrofia y la fuerza muscular con BFR-RE están ampliamente documentados. En los últimos años, varios análisis sistemáticos y metaanálisis han demostrado que el BFR-RE aumenta de manera efectiva la fuerza y/o la hipertrofia muscular esquelética en poblaciones jóvenes y saludables (Loenneke et al., 2012d; Slys et al., 2016; Lixandrão et al., 2018) y en poblaciones mayores (Centner et al., 2018a; Lixandrão et al., 2018), así como en poblaciones con compromisos de carga que necesitan rehabilitación (Hughes et al., 2017).

Se ha demostrado que varias medidas de fuerza muscular mejoran en respuesta a las intervenciones de BFR-RE, incluyendo fuerza isotónica dinámica (Burgomaster et al., 2003; Moore et al., 2004), fuerza isométrica (Takarada et al., 2000a; Moore et al., 2004) e isocinética (Takarada et al., 2000c, 2004; Burgomaster et al., 2003; Moore et al., 2004), así como la capacidad de desarrollo de fuerza explosiva (Nielsen et al., 2017b).

Está bien documentado que las adaptaciones de hipertrofia y fuerza muscular con BFR-RE son significativamente mayores que las logradas con ejercicio de resistencia de baja carga (LL-RE) solo en la mayoría de los estudios (Takarada et al., 2002, 2004; Abe et al., 2005a, b, c; Yasuda et al., 2005), pero no en todos los estudios (Farup et al., 2015). Tales adaptaciones se han observado después de solo 1–3 semanas (Abe et al., 2005a, b, 2006; Fujita et al., 2008; Nielsen et al., 2012; Yasuda et al., 2005).

Estas escalas de tiempo para aumentos tempranos en la fuerza se reflejan en la investigación de ejercicio de resistencia de alta carga (HL-RE) (Blazevich et al., 2017); sin embargo, este no

es típicamente el caso para la masa muscular donde las adaptaciones generalmente no se observan en 1–3 semanas después de HL-RE (Damas et al., 2016).

Aunque los aumentos en el tamaño muscular pueden ser en parte resultado del edema agudo observado durante y después de BFR-RE (Loenneke et al., 2012c; Pearson y Hussain, 2015), aún se observan mejoras entre 2 y 10 días después del entrenamiento (Abe et al., 2005a; Fujita et al., 2008; Nielsen et al., 2012). Así, parece que el BFR-RE permite la ganancia temprana de masa muscular esquelética; sin embargo, debe tenerse en cuenta que este crecimiento muscular temprano probablemente se deba a la capacidad de usar BFR-RE con una alta frecuencia de entrenamiento, lo cual no siempre es posible con HL-RE. Por ejemplo, las cargas más bajas utilizadas durante BFR-RE no requieren tanto tiempo de recuperación como HL-RE y, por lo tanto, debido a estas menores demandas mecánicas, esto puede permitir una mayor frecuencia de entrenamiento.

La hipertrofia muscular con la frecuencia de entrenamiento convencional (2–3 veces por semana) se ha observado después de períodos de entrenamiento más largos de 3 semanas (Ladlow et al., 2018), 5 semanas (Manimmanakorn et al., 2013), 6 semanas (Thiebaud et al., 2013), y ≥8 semanas de entrenamiento (Moore et al., 2004; Libardi et al., 2015; Yasuda et al., 2016; Cook et al., 2017).

El BFR-RE mejora la fuerza muscular en comparación con LL-RE solo (Hughes et al., 2017), pero generalmente muestra menos ganancia en la fuerza muscular en comparación con HL-RE (Loenneke et al., 2012d; Hughes et al., 2017; Lixandrão et al., 2018). Un metaanálisis reciente de Lixandrão et al. (2018) mostró mayores ganancias de fuerza muscular para HL-RE en comparación con BFR-RE, incluso al ajustar por posibles moderadores [por ejemplo, especificidad de la prueba (dinámica o isométrica), ancho del manguito, presión de oclusión absoluta y método de prescripción de presión de oclusión].

Por otro lado, el mismo metaanálisis mostró que BFR-RE induce aumentos comparables en la masa muscular en comparación con HL-RE, independientemente del ancho del manguito, la presión de oclusión absoluta y el método de prescripción de presión de oclusión. Por lo tanto, sugerimos que aunque las ganancias de fuerza muscular observadas en BFR-RE son menores en comparación con HL-RE, el BFR es más efectivo que el LL-RE solo y puede ser utilizado cuando no se recomienda HL-RE (por ejemplo, rehabilitación postoperatoria, rehabilitación cardíaca, enfermedades inflamatorias y personas mayores frágiles). Cuando se considera el crecimiento de la masa muscular, tanto BFR-RE como HL-RE parecen igualmente efectivos. La atrofia por desuso es una complicación frecuente en poblaciones clínicas, lo que hace que BFR-RE sea una alternativa potencial a HL-RE específicamente para la pérdida de masa muscular.

2. HIPÓTESIS

La hipótesis que se quiso valorar en este trabajo de fin de grado fue que la utilización del método BFRT (Blood Flow Restriction Training (Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo)) produce mejoras en la fuerza en cuádriceps, previene la atrofia muscular y reduce el dolor tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA).

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

El objetivo general de esta revisión bibliográfica fue analizar la eficacia del método BRFT (Blood Flow Restriction Trainig) en pacientes con reconstrucción de LCA (ligamento cruzado anterior), y así, determinar si la fisioterapia puede utilizar esta herramienta en combinación con otras para una óptima rehabilitación.

3.2 ESPECÍFICOS

1. Determinar los efectos del método “BFRT” sobre la **fuerza** en extensores de rodilla en pacientes con reconstrucción de LCA.
2. Determinar los efectos del método “BFRT” sobre la **atrofia** muscular en la musculatura cuádriceps en pacientes con reconstrucción de LCA.
3. Determinar los efectos del método “BFRT” sobre el **dolor** en la articulación de la rodilla en pacientes con reconstrucción del LCA.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 DISEÑO Y POBLACIÓN DE ESTUDIO

Entre el 12 de Marzo y el 12 de Abril, se realizó una revisión bibliográfica de la literatura científica, con la intención de determinar si el método de entrenamiento “BFR” (Blood Flow Restriction), tras la reconstrucción del LCA (Ligamento Cruzado Anterior), era efectiva para la ganancia de fuerza en cuádriceps, para prevenir la atrofia en dicha musculatura, y mejorar el dolor en la articulación de la rodilla tras la cirugía.

Para llevar a cabo una investigación bibliográfica óptima, se formuló una pregunta clínica articulada en torno a la metodología “PICO”.

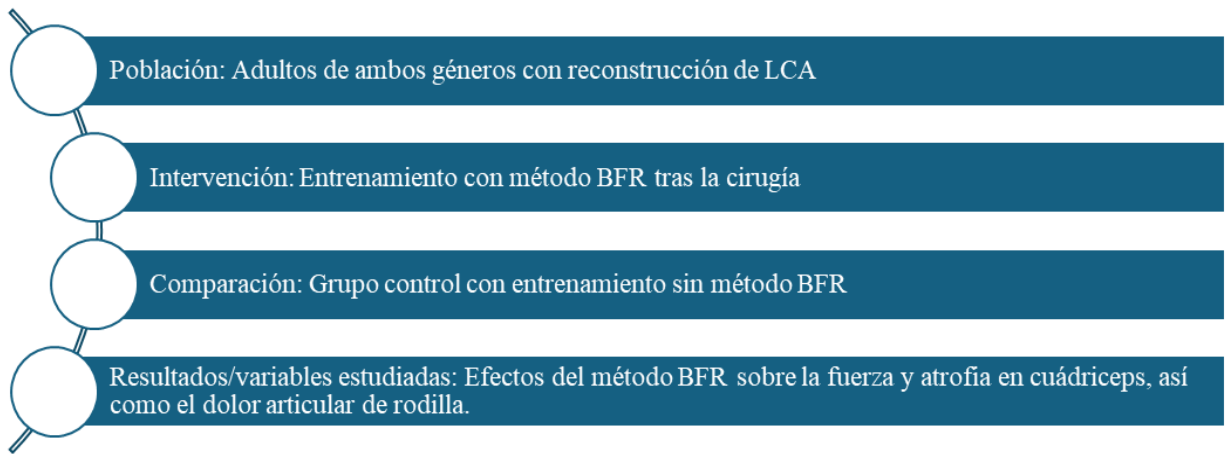


Figura 2. Metodología PICO (elaboración propia)

Considerando esta base, se elaboraron las siguientes preguntas de investigación: **¿Tiene el método BFR una utilidad significativa para la recuperación tras una reconstrucción del LCA? ¿Es el método BFR eficaz para aumentar la fuerza y prevenir atrofia en cuádriceps, además de ayudar a disminuir el dolor en la articulación de la rodilla?**

4.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y DE EXCLUSIÓN

<u>CRITERIOS DE INCLUSIÓN</u>	<u>CRITERIOS DE EXCLUSIÓN</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Población: pacientes adultos, mujeres y hombres, tras reconstrucción de LCA - Intervenciones: Aplicación del método de entrenamiento BFR - Que las variables medidas sean “fuerza”, “atrofia” o “dolor” - Investigaciones empíricas de casos y controles - Estudios realizados en humanos - Publicaciones desde el 2000 - Puntuación en escala PEDro (calidad metodológica) superior o igual a 5. - Artículos redactados en inglés 	<ul style="list-style-type: none"> - Se rechazaron todas las revisiones sistemáticas - Patologías: pacientes con artroscopia de menisco, artrosis y otras patologías que no fueran rotura de LCA - Intervenciones: Terapia multimodal, educación al paciente, TENS e intervenciones que no sean BFR - Variables: Artículos que no incluyeran “fuerza” “atrofia” o “dolor” como variables - Tipos de estudios: escala PEDro inferior a 5, imposibilidad de encontrar el artículo completo, anteriores al año 2000 - Resultados no claramente expuestos

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Elaboración propia.

4.3 ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA

El trabajo de investigación empezó con la creación de un plan de desarrollo relacionado con el tema de estudio. A continuación, se inició la búsqueda de ensayos controlados aleatorizados relacionados con el tema de estudio: la utilización del método BFRT en la rehabilitación con pacientes tras reconstrucción de LCA. Las palabras claves fueron (“ACL reconstruction” “Anterior cruciate ligament” “Blood Flow Restriction” y “Effects”). Constituyeron las ecuaciones de

búsqueda en las bases de datos Pubmed y PEDro, con los marcadores booleanos (“AND” y “OR”). La búsqueda se enfocó desde el año 2000, y en relación al idioma de predilección, se eligieron artículos únicamente en inglés.

Tras la primera búsqueda se obtuvieron 1529 artículos, los cuales al aplicar filtros como “Full text”, idioma “inglés”, desde el año “2000”, y “ensayos controlados aleatorizados”, nos quedamos con 265 artículos. Al filtrar por las investigaciones de los últimos 5 años se obtuvo un total de 144 artículos. Por último, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, así como lectura del “Abstract”, se escogieron 6 artículos. Además de estos 6 artículos se añadieron 2 fuera de los últimos 5 años de publicación debido a su relevancia con la temática de la presente revisión. A continuación, se muestra un diagrama de flujo de la estrategia de búsqueda de esta revisión (Figura 3.).

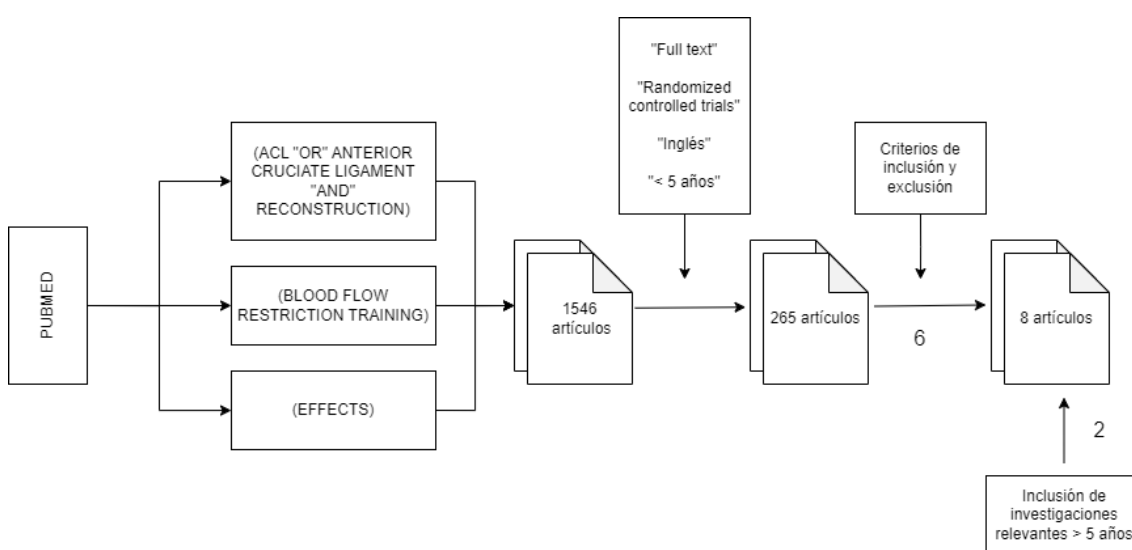


Figura 3. Diagrama de flujo sobre la estrategia de búsqueda.

4.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD METODOLÓGICA DE LOS ARTÍCULOS

La evaluación de la calidad metodológica de los artículos encontrados en las bases de datos se realizó gracias a la herramienta propuesta por la colaboración "Physiotherapy Evidence Database" (Fisioterapia basada en la evidencia): la llamada escala PEDro, inicialmente desarrollada en inglés en el año 1999. La escala PEDro consta de unos 11 ítems, correspondientes a 11 criterios metodológicos de los estudios (ver los detalles de la escala PEDro en la Figura 4 y 5). Para resumir, entre otros, esta escala valora: los criterios de elección de los participantes al estudio, si la distribución en los grupos de intervenciones fue aleatoria y oculta, si los sujetos, terapeutas y evaluadores fueron cegados, si la cantidad de resultados obtenidos fue suficiente, y si el análisis estadístico fue riguroso. Para cada ítem, si el artículo cumple la característica mencionada, se atribuye un "Si" y si no la cumple, se atribuye un "No". Cada "Si" acumula 1 punto, salvo para el ítem 1 que no acumula ningún punto. Con lo cual, la máxima puntuación (10) corresponde a una máxima calidad metodológica del estudio. Para la elaboración de esta revisión bibliográfica, se seleccionaron solamente artículos cuya puntuación superaba el 4.

Escala PEDro-Español

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúen alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Figura 4. Fuente: Gómez- Conesa, A. (2012, diciembre 30). Escala PEDro-Español Physiotherapy Evidence Database.

Notas sobre la administración de la escala PEDro:

Todos los criterios	Los puntos solo se otorgan cuando el criterio se cumple claramente. Si después de una lectura exhaustiva del estudio no se cumple algún criterio, no se debería otorgar la puntuación para ese criterio.
Criterio 1	Este criterio se cumple si el artículo describe la fuente de obtención de los sujetos y un listado de los criterios que tienen que cumplir para que puedan ser incluidos en el estudio.
Criterio 2	Se considera que un estudio ha usado una designación al azar si el artículo aporta que la asignación fue aleatoria. El método preciso de aleatorización no precisa ser especificado. Procedimientos tales como lanzar monedas y tirar los dados deberían ser considerados aleatorios. Procedimientos de asignación cuasi-aleatorios, tales como la asignación por el número de registro del hospital o la fecha de nacimiento, o la alternancia, no cumplen este criterio.
Criterio 3	<i>La asignación oculta</i> (enmascaramiento) significa que la persona que determina si un sujeto es susceptible de ser incluido en un estudio, desconocía a que grupo iba a ser asignado cuando se tomó esta decisión. Se puntúa este criterio incluso si no se aporta que la asignación fue oculta, cuando el artículo aporta que la asignación fue por sobres opacos sellados o que la distribución fue realizada por el encargado de organizar la distribución, quien estaba fuera o aislado del resto del equipo de investigadores.
Criterio 4	Como mínimo, en estudios de intervenciones terapéuticas, el artículo debe describir al menos una medida de la severidad de la condición tratada y al menos una medida (diferente) del resultado clave al inicio. El evaluador debe asegurarse de que los resultados de los grupos no difieran en la línea base, en una cantidad clínicamente significativa. El criterio se cumple incluso si solo se presentan los datos iniciales de los sujetos que finalizaron el estudio.
Criterio 4, 7-11	<i>Los Resultados clave</i> son aquellos que proporcionan la medida primaria de la eficacia (o ausencia de eficacia) de la terapia. En la mayoría de los estudios, se usa más de una variable como una medida de resultado.
Criterio 5-7	<i>Cegado</i> significa que la persona en cuestión (sujeto, terapeuta o evaluador) no conocía a que grupo había sido asignado el sujeto. Además, los sujetos o terapeutas solo se consideran "cegados" si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos. En los estudios en los que los resultados clave sean auto administrados (ej. escala visual analógica, diario del dolor), el evaluador es considerado cegado si el sujeto fue cegado.
Criterio 8	Este criterio solo se cumple si el artículo aporta explícitamente <i>tanto</i> el número de sujetos inicialmente asignados a los grupos <i>como</i> el número de sujetos de los que se obtuvieron las medidas de resultado clave. En los estudios en los que los resultados se han medido en diferentes momentos en el tiempo, un resultado clave debe haber sido medido en más del 85% de los sujetos en alguno de estos momentos.
Criterio 9	El análisis por <i>intención de tratar</i> significa que, donde los sujetos no recibieron tratamiento (o la condición de control) según fueron asignados, y donde las medidas de los resultados estuvieron disponibles, el análisis se realizó como si los sujetos recibieran el tratamiento (o la condición de control) al que fueron asignados. Este criterio se cumple, incluso si no hay mención de análisis por intención de tratar, si el informe establece explícitamente que todos los sujetos recibieron el tratamiento o la condición de control según fueron asignados.
Criterio 10	Una comparación estadística <i>entre grupos</i> implica la comparación estadística de un grupo con otro. Dependiendo del diseño del estudio, puede implicar la comparación de dos o más tratamientos, o la comparación de un tratamiento con una condición de control. El análisis puede ser una comparación simple de los resultados medidos después del tratamiento administrado, o una comparación del cambio experimentado por un grupo con el cambio del otro grupo (cuando se ha utilizado un análisis factorial de la varianza para analizar los datos, estos últimos son a menudo aportados como una interacción grupo x tiempo). La comparación puede realizarse mediante un contraste de hipótesis (que proporciona un valor "p", que describe la probabilidad con la que los grupos difieran sólo por el azar) o como una estimación de un tamaño del efecto (por ejemplo, la diferencia en la media o mediana, o una diferencia en las proporciones, o en el número necesario para tratar, o un riesgo relativo o hazard ratio) y su intervalo de confianza.
Criterio 11	Una <i>estimación puntual</i> es una medida del tamaño del efecto del tratamiento. El efecto del tratamiento debe ser descrito como la diferencia en los resultados de los grupos, o como el resultado en (cada uno) de todos los grupos. Las <i>medidas de la variabilidad</i> incluyen desviaciones estándar, errores estándar, intervalos de confianza, rango intercuartílicos (u otros rangos de cuantiles), y rangos. Las estimaciones puntuales y/o las medidas de variabilidad deben ser proporcionadas gráficamente (por ejemplo, se pueden presentar desviaciones estándar como barras de error en una figura) siempre que sea necesario para aclarar lo que se está mostrando (por ejemplo, mientras quede claro si las barras de error representan las desviaciones estándar o el error estándar). Cuando los resultados son categóricos, este criterio se cumple si se presenta el número de sujetos en cada categoría para cada grupo.

Figura 5. Fuente: Gómez- Conesa, A. (2012, diciembre 30). Escala PEDro-Español Physiotherapy Evidence Database.

5. RESULTADOS

5.1 TABLAS RESULTADOS

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Takarada et al., 2000	2 semanas	16 (8M y 8F)	2/día (5 series → 5' oclusión y 3' descanso) Aparato: Pneumatic occlusion cuff.	Estímulo de oclusión únicamente.	-Atrofia MRI

Resultados:

-Atrofia muscular.

En este estudio, a diferencia de todos los demás que se han utilizado para dicha revisión, se utilizó únicamente el estímulo de oclusión, observándose mediante Resonancia Magnética (MRI) una menor atrofia muscular en los sujetos, no apareciendo resultados significativos en lo que respecta al aumento de masa muscular. Por lo tanto, se concluye que el uso de BFR puede favorecer la reducción de atrofia muscular, pudiéndose aplicar en personas-adultos mayores que no tengan la capacidad para realizar un entrenamiento de fuerza, por ejemplo.

Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(12), 2035–2039. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Ohta et al., 2003	16 semanas.	44 (25 M y 19 F).	Semana 1-12 EF (6/semana y 2/día). Aparato: Hand-pumped air tourniquet.	“SLR” (semana 1-8), “IHS”, “Step-up Exercise” (semana 5-16).	Fuerza y Atrofia muscular. Fuerza → dinamómetro isocinético (BIODEX SYSTEM). Atrofia → MRI

Ohta, H., Kurosawa, H., Ikeda, H., Iwase, Y., Satou, N., & Nakamura, S. (2003). Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate

Resultados:

+ Fuerza, - Atrofia muscular.

Se demuestra que hay un aumento de fuerza con tan solo la realización de 2 ejercicios junto con el uso de BFR, además de una reducción de la atrofia muscular. Esto concluye que el BFR junto con el entrenamiento de fuerza, en este caso en bajas cargas, otorga un estímulo más que suficiente para producir adaptaciones en los sujetos estudiados.

ligament reconstruction. *Acta orthopaedica Scandinavica*, 74(1), 62–68. <https://doi.org/10.1080/00016470310013680>

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Hughes et al., 2019	8 semanas.	24 (14 1RM y 14 BFR). (17 M y 7 F).	EF 8 semanas 2 veces por semana (16 sesiones) acompañado de rehabilitación hospitalaria. Aparato: <i>Delfi Medical</i>	“Leg-Press” unilateral.	Dolor. Escala Borg (0-10).

Resultados:

-Dolor en la articulación de rodilla y 24h post-sesión

El dolor de rodilla fue menor con BFR-RT durante ($p < 0,05$) y 24 h después del entrenamiento ($p < 0,05$) con BFR-RT en todas las sesiones. El RPE (Ratio de Percepción del Esfuerzo) se mantuvo sin cambios ($p > 0,05$) tanto para BFR-RT (EF con BFR) como para HL-RT (EF con altas cargas). Destacar que en este estudio ya se hace uso de altas cargas para la compara con el BFR, lo que muestra que el BFR es una herramienta que puede conceder un estímulo casi parecido a estos tipos de entrenamiento, que han demostrado tener una alta eficacia en la mejora de la calidad de vida de las personas, ya no solo por la mejora en la sintomatología del dolor, sino en otras variables estudiadas (estudio que se verá a continuación).

Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., Ferris, G., Dawes, J., Paton, B., & Patterson, S. D. (2019). 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 medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(11), 1787–1805. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Hughes et al., 2019	8 semanas.	24 (14 1RM y 14 BFR). (17 M y 7 F).	EF 8 semanas 2 veces por semana (16 sesiones) acompañado de rehabilitación hospitalaria. Aparato: <i>Delfi Medical</i>	“Leg-Press” unilateral.	Fuerza y Atrofia muscular. Fuerza → dinamómetro isocinético (BIODEX SYSTEM) Atrofia → Ecografía

Resultados:

+ Fuerza y – Atrofia muscular.

La metodología BFR con bajas cargas en el entrenamiento de fuerza para fases agudas en un postoperatorio mejora la hipertrofia muscular y las ganancias de fuerza de manera parecida a un entrenamiento de fuerza de alta intensidad, basándose dicho estudio en la reducción del dolor, mejora de la funcionalidad en lo que respecta al rango articular, y fuerza. Por lo que se establece que la metodología BFR puede ser apropiada en la rehabilitación temprana en la lesión LCA. Se muestran los resultados siguientes, donde se muestra que la fuerza 10RM aumentó significativamente en la extremidad lesionada y la no lesionada ($104 \pm 30\%$ y $106 \pm 43\%$) ($33 \pm 13\%$ y $39 \pm 17\%$) respectivamente, con BFR-RT y HL-R.

Se observaron aumentos significativos y comparables en el grosor muscular ($5,8 \pm 0,2\%$ y $6,7 \pm 0,3\%$) y el ángulo de penneación ($4,1 \pm 0,3\%$ y $3,4 \pm 0,1\%$) con BFR-RT y HL-RT, respectivamente.

Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., ... & Patterson, S. D. (2019). 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 Medicine*, 49, 1787-1805.

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Kilgas et al., 2019		18 (9 GC sin lesión y 9 BFR con lesión ACL)	EF 4 semanas, 5 veces/semana, 25'	“Single-Knee Extension”, caminar, “Body-Weight Half-Squar”	Fuerza y Atrofia muscular.

Resultados:

-Atrofia muscular, pero semejantes ganancias de fuerza respecto GC (No lesionados).

BFR puede reducir la pérdida de la musculatura y hueso hasta 12 semanas del postoperatorio, además de facilitar la vuelta a la actividad deportiva (disminuyendo los tiempos de recuperación).

Hubo resultados significativos en el tamaño transversal del músculo del recto femoral y vasto lateral (ambos $p < 0,01$) indicando que la pierna afectada obtuvo diferencias en su tamaño en comparación con la pierna no afecta.

Así, una vez finalizado el entrenamiento, el tamaño en grosor del recto femoral y la fuerza del extensor de la rodilla en la pierna afectada aumentaron en un $11 \pm 5\%$, $10 \pm 6\%$ y $20 \pm 14\%$, respectivamente (todos $P < 0,01$).

De nuevo, esto indica que el BFR es una herramienta de gran importancia para la mejora de diversos parámetros, no solamente para la fuerza y la reducción de la atrofia muscular, sino que además de para la reducción en la pérdida de la densidad mineral ósea (como se comprueba en este estudio) y para la reducción de la sintomatología del dolor (como se ha visto en anteriores estudios).

Kilgas, M. A., Lytle, L. L. M., Drum, S. N., & Elmer, S. J. (2019). Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *International journal of sports medicine*, 40(10), 650–656. <https://doi.org/10.1055/a-0961-1434>

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Jung et al., 2022	12 semanas.	24 (18M y 6F). (17M y 7F)	EF 3 días/semana 60 mins/día + 10% RM primeras 4-6 y 10 semanas. 30sg. Aparato: <i>Smart Cuffs, PRO Smart Tools Plus, LLC, OH, USA</i>	Squar (conc-exc) y variantes (semana 3-12). Leg-Extension (semana 7 y 8)	Fuerza. Dinamómetro isocinético (BIODEX SYSTEM)

Resultados:

+ Fuerza en BFR que GC.

Rehabilitación de ET + EF + BFR después de operación de LCA es más efectiva que GC, observándose por la actividad muscular mediante EMG en cuádriceps a velocidad angular 60°/s, así como la fuerza y resistencia muscular en dinamómetro isocinético a 60°/s y 180°/s en cuádriceps e isquiotibiales. (no datos de dolor).

Se concluye en este estudio, que es de gran utilidad la recomendación y utilización de BFR en la práctica de los entrenamientos de fuerza para una eficaz y más pronta recuperación de LCA post-cirugía, demostrándose, principalmente, mejoras significativas en la fuerza (más que en cualquier otro parámetro).

Jung, W. S., Kim, S. H., Nam, S. S., Kim, J. W., & Moon, H. W. (2022). Effects of rehabilitation exercise with blood flow restriction after anterior cruciate ligament reconstruction. *Applied Sciences*, 12(23), 12058.

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	VARIABLES estudiadas y medición.
Jack et al., 2023	12 semanas.	32 Total (GC 15 - BFR 17 → (13 F y 19 M).	EF 2/Semana. Aparato: <i>Delfi Tourniquet System</i> .	Semana 2-4 → contracción cuádriceps. Semana 6-12 → SLP Semana 7-8 → "Ball Squat" Semana 9-10 → "Split Lunge" Semana 11-12 "Box Step-ups"	Atrofia muscular. DEXA (Composición Corporal). RTP (Return-To-Play) o vuelta a la competición.

Resultados:

-Atrofia muscular.

En comparación con el preoperatorio, solo el grupo CONTROL experimentó disminuciones en LE-LM (masa magra en extremidades inferiores) en la semana 6 ($-0,61 \pm 0,19$ kg, $-6,64 \pm 1,86$ %; $P < 0,01$) y la semana 12 ($-0,39 \pm 0,15$ kg, $-4,67 \pm 1,58$ %; $P = 0,01$) de rehabilitación.

-Tiempo RTP.

El tiempo de RTP se redujo en el grupo BFR ($6,4 \pm 0,3$ meses) en comparación con el grupo CONTROL ($8,3 \pm 0,5$ meses; $P = 0,01$), demostrando que también el uso de BFR está recomendado en el alto rendimiento-competición.

Jack, R. A., 2nd, Lambert, B. S., Hedt, C. A., Delgado, D., Goble, H., & McCulloch, P. C. (2023). Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports health, 15*(3), 361–371. <https://doi.org/10.1177/19417381221101006>

Autor y año.	Duración.	N. Sujetos.	Protocolo.	Ejercicios.	Variables estudiadas y medición.
Li et al., 2023	8 semanas	40 Total a 7 abandonaron el estudio (GC 6, BFR AOP 40% = 9, BFR AOP 80% = 8)	EF 8 semanas 2/semana, 2/día, 4 series cada sesión, 30 REPS primera series y el resto 14 REPS, con descanso pasivo de 30" entre series. Aparato: VALD Air pressure system.	Calentamiento caminar 10'. Semana 1 a EF ISO "leg-extension" con banda elástica. Semana 2 a + pelota. Semana 3 a + autocarga. Semana 4 a + subir escaleras. Semana 5 y 6 a + "leg extensión carga" Semana 7 a sentadilla búlgara. Semana 8 a + caminar	Fuerza y atrofia muscular. Fuerza → Dinamómetro isocinético (BIODEX SYSTEM) Atrofia → Ecografía.

Resultados:

+ Fuerza y – Atrofia muscular en BFR, y con una AOP de +80% + beneficios que en +40% AOP.

El grupo de compresión AOP del 80% mostró un aumento en la fuerza del músculo cuádriceps femoral y en el grosor del músculo ($p < 0,01$). En comparación con el grupo de control, los indicadores de resultados en el grupo 40% AOP y 80% AOP mejoraron ($p < 0,05$). Después de 8 semanas de intervención experimental BFR, los resultados fueron mejores para el grupo de compresión AOP del 80% que para el grupo de compresión AOP del 40% en el torque máximo del cuádriceps al peso corporal a $60^\circ/s$ y $180^\circ/s$ de velocidad angular, así como la suma del espesor del recto femoral y el vasto intermedio.

Se concluye que no solamente el BFR de por sí ya proporciona beneficios en la fuerza y en la reducción de la atrofia muscular, sino que en función del % de AOP se conseguirán mayores o menores beneficios. Por lo que, dentro de las mejoras que existe, puede haber una mayor optimización de esta herramienta.

Li, X., Li, J., Qing, L., Wang, H., Ma, H., & Huang, P. (2023). Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. *BMC musculoskeletal disorders*, 24(1), 360. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06483-x>

IMP: EN TODOS LOS ESTUDIOS, LOS PARTICIPANTES PRESENTAN RECONSTRUCCIÓN LCA, EXCLUYENDO UN ESTUDIO DONDE SE COMPARA CON SUJETOS SANOS.

PALABRAS CLAVE RESULTADOS:

ACL → Anterior Cruciate Ligament, **AOP** → “Arterial Occlusion Pressure o Presión de Oclusión Arterial”, **BFR** → “Blood-Flow-Restriction” o Reducción de Flujo Sanguíneo, “**Body Weight Half-Squat**” → Ejercicio Media-Sentadilla con propio peso corporal, **CONC** → Concéntrico, **EF** → Entrenamiento de Fuerza, **EXC** → Excéntrico, **F** → Femenino, **GC** → Grupo Control, **HL** → High-Load o Altas cargas, “**Leg-Extension**” → Extensión de pierna, “**Leg-Press**” → Ejercicio Prensa de Piernas, **ISO** → Isométrico, **M** → Masculino, **MRI** → Resonancia Magnética, **REPS** → Repeticiones, **RM** → Repetición Máxima, **RT** → Resistance Training o Entrenamiento de Fuerza, **SLR** → “Single-Leg-Raise” o Ejercicio de elevación de una pierna, “**Single-Knee-Extensión**” → Ejercicio de Extensión de una sola rodilla, “**Step-Up Exercise**” → Ejercicio en plataforma elevada.

6. DISCUSIÓN

Discusión sobre los resultados encontrados en los artículos estudiados.

Los resultados de este análisis bibliográfico denotan que:

- Respecto a los valores de **fuerza** medidos en cada sujeto mediante dinamómetro, en todos los artículos, los sujetos con lesión de LCA que utilizaron la metodología BFR junto con entrenamiento de fuerza convencional tuvieron un efecto significativamente más notable en lo que respecta a las ganancias de fuerza (N) que los sujetos que hicieron un proceso de rehabilitación únicamente con entrenamiento de fuerza tradicional.
- En cuanto a la **Atrofia** muscular, en estos mismos pacientes y de otros estudios seleccionados donde solamente se medía esta variable, también presentaron una reducción de la atrofia muscular si utilizaban la metodología BFR, en comparación a los grupos control, y, en ocasiones, a mayor presión de oclusión arterial, mejores resultados.
- En lo que al **dolor** se refiere, se ha observado, mayor reducción de dolor de la articulación de rodilla 24 horas post-sesión con la utilización de BFR, aunque existe más debate puesto que no hay tanta evidencia científica que estudie este parámetro. Hace falta más investigación sobre este parámetro.

En primer lugar, el estudio de Takarada (2000) pareció clave para el entendimiento de la utilización de BFR por sí solo, pues se observó que solamente con el estímulo de oclusión, había una reducción de la atrofia muscular. Haciendo referencia a la variable de sección transversal del músculo mediante pruebas de imagen por MRI (Resonancia Magnética), los resultados en cuanto a reducción de tamaño muscular cuando se utilizó BFR era de 167.5 +- 5.1 en el tercer día y de 156.3 +- 6.5* tras finalizar la segunda semana (media de hombres y mujeres), mientras que sin el uso de BFR, se observa una mayor pérdida de la sección transversal del músculo con los valores 161.0 +- 4.7 137.5 +- 6.4*. Estos resultados sugieren que la metodología BFR sí es útil para evitar una mayor aceleración de atrofia muscular, pero no es una herramienta que deba

utilizarse por sí sola, sino combinarla junto con entrenamiento de fuerza o ejercicios, en este caso, para los extensores y flexores de rodilla para una mayor recuperación de LCA a largo plazo.

Esto se demuestra en el estudio de Ohta et al., 2003, donde ya se incorpora el entrenamiento de fuerza durante 16 semanas, realizando las primeras 8 semanas realizando ejercicios isométricos, y a las 8 semanas siguientes otras variantes de ejercicios transferibles a la vida cotidiana y de mayor complejidad a nivel motriz que un isométrico, en este caso subir y bajar de un step (concéntrico - excéntrico). Se observó que con 180 mm Hg de presión BFR y con bajas cargas de entrenamiento se conseguía una mejora en la sección transversal de la musculatura extensora de rodilla. Además, no solamente recomiendan utilizar el BFR en post-operatorios de LCA, sino también en personas con poca masa muscular en las extremidades inferiores en general.

Para los estudios de Hughes en 2019, es interesante destacar que observó las variables de fuerza y atrofia como en los demás estudios que se analizan en esta revisión, habiendo también mejoras en ambas variables, pero también puso un enfoque en el dolor percibido en la región articular de la rodilla en el ejercicio monopodal de "leg-press". Esto lo pudo medir con la Escala de Borg de 1-10 y comprobó que había una disminución del dolor con el uso de BFR 24 horas post-sesión de entrenamiento de fuerza ($p < 0,05$). Esto sugiere que podría ser una buena estrategia para fases agudas de lesión post-operatorio, y a que la persona afectada puede realizar tareas con menos sensación de dolor, reduciendo así la aprensión al movimiento, que de forma indirecta favorece la atrofia muscular.

Ya no solamente el BFR es de gran utilidad por su efectividad en mejorar los valores de fuerza e hipertrofia en el recto anterior del cuádriceps y vasto lateral como bien se demuestra en el estudio de Kilgas en 2019, con una AOP (oclusión de presión arterial) de 50%, sino también viéndose caracterizándose por su seguridad de uso, observando que el 98% de todos los participantes en dicho estudio consiguieron terminar el circuito de entrenamiento en sus establecimientos sin ningún efecto adverso. Esto demuestra que el BFR puede aplicarse de forma autónoma y segura, y se detalla que se consiguieron ganancias de fuerza sin necesidad de añadir carga (solamente utilizando el propio peso corporal) y con la marcha, es decir con bajas cargas como se demostró en el estudio de Ohta, 2003.

En cuanto al estudio de Jung et al., 2022, a diferencia de los anteriores estudios se añade un 10% RM (carga) a los ejercicios establecidos durante varias semanas un total de 12 semanas, concretamente en las semanas 4, 6 y 10. En este estudio se mide únicamente la fuerza con dinamómetro, y se registra que BFR junto con entrenamiento de fuerza registra mejoras valores de fuerza que en grupo control. Cabe destacar que aunque se establezca durante varias semanas un aumento del 10% de RM hasta llegar al 30RM, se estaría hablando de cargas livianas, por lo que, este estudio coincide con el de Ohta 2003 y Kilgas 2019 en que con bajas cargas sería más que suficiente para producir adaptaciones significativas en fases agudas de lesión en el tejido adyacente al LCA, favoreciendo que haya menor riesgo de lesión que si se desplazan cargas elevadas o próximas al RM.

De forma diferente sucede con el estudio de Li et al (2023) donde no se incrementa la carga en este caso, sino la complejidad de los ejercicios durante 8 semanas, junto con el uso de BFR, donde también se observan mejoras en la fuerza y en la disminución de pérdida de atrofia muscular. Pero en este estudio es necesario poner especial hincapié en que, se estudió que a mayor AOP, mayores beneficios, pues se compararon sujetos con AOP 40% y otros con 80% y los que tenían AOP 80% viéndose una mejora total en la funcionalidad de la rodilla y en el aumento de la sección transversal del músculo en las fibras tipo I y II, favoreciendo el proceso de rehabilitación en fases agudas de lesión.

Finalmente, y en uno de los estudios más recientes, Jack et al 2023 hacen referencia a la variable de atrofia muscular mediante el uso de DEXA, observando que en el GC no había tantas mejoras como en el grupo BFR, además de valorar si el deportista está preparado para el RTP (Return-To-Play) o vuelta a la competición. Los resultados obtenidos muestran que solamente el GC presentó en las semanas 6 y 12 pérdida de masa muscular en las extremidades inferiores (-0.61 ± 0.19 kg, $-6.64 \pm 1.86\%$; $P < 0.01$) y (-0.39 ± 0.15 kg, $-4.67 \pm 1.58\%$; $P = 0.01$) respectivamente.

Una vez más, este estudio junto como los comentados previamente, muestran que es importante el uso de BFR, no solamente por la capacidad que tiene de prevenir la atrofia muscular o una mayor aceleración de la misma, sino también para las optimizar las ganancias de fuerza y masa muscular, además de la reducción del dolor en la articulación de rodilla, vital para poder llevar a cabo la actividad del día a día en el ser humano. Destacar que según los estudios de Jung (2022) y Li (2023) el BFR puede ser utilizado en el entrenamiento de fuerza para obtener beneficios independientemente de que se prescriba ejercicio con mayor carga semanalmente, o incrementando la complejidad de los ejercicios semana tras semana, esto dependerá del paciente y de la valoración y anamnesis que se le haga con anterioridad cuando acuda a consulta por primera vez. De todos modos, se sabe que de ambas maneras se presentan beneficios con los pacientes que hacen uso de dicho implemento.

Finalmente, es importante recalcar que el BFR debe ir acompañado del entrenamiento de fuerza o ejercicio terapéutico para maximizar las ganancias de fuerza y reducción de la atrofia muscular según todos los estudios de autores mencionados anteriormente, bien sea supervisado por un fisioterapeuta o no (haciendo uso del BFR en casa de forma autónoma siempre siguiendo las pautas del profesional) según Kilgas, 2019.

7. LIMITACIONES Y FORTALEZAS

7.1 Limitaciones

Las principales limitaciones de esta revisión bibliográfica se enumeran en la siguiente lista:

- El número de artículos elegidos fue limitado por la falta de estudios específicos sobre el tema y por la preocupación por seleccionar artículos de buena calidad científica.
- Este método sería contraindicado aplicarlo en pacientes con problemas vasculares.
- Algunos ensayos controlados aleatorizados tenían un tamaño de muestra reducido, lo que nos puede alejar de una buena representación de la realidad.
- El método BFR es un tipo de entrenamiento que ha obtenido buenos resultados en diversos estudios, pero se desconocen los mecanismos fisiológicos específicos que expliquen su beneficio.
- En algunos ensayos controlados aleatorizados estudiados, los pacientes no fueron seguidos ni evaluados a largo plazo.

7. 2 Fortalezas

Las fortalezas que más se destacan del trabajo se detallan a continuación:

- El tema escogido es original y su aplicación en la rehabilitación de una de las lesiones más comunes en el mundo del deporte a través de la fisioterapia nos abre puertas a futuras investigaciones relacionadas.
- Demuestra la importancia del rol de la fisioterapia en la recuperación funcional de la persona que sufre estas condiciones.
- La aplicación de este método se puede extrapolar a una población que no pueda soportar cargas altas de entrenamientos e incluso otro tipo de pacientes quirúrgicos para evitar pérdida de fuerza, atrofia y dolor.
- Las variables estudiadas son claves para valorar el estado funcional de la articulación y la reducción de probabilidad de lesiones recidivas.

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En primer lugar, como no existe un protocolo estandarizado sobre tipo de material, presión de oclusión arterial, tiempo de exposición al estímulo, y demás variables que entran en juego al utilizar este método, sería interesante realizar más investigaciones con un mismo protocolo para ajustarnos lo máximo posible a unas medidas estructuradas que obtengan los beneficios requeridos.

También sería interesante profundizar la investigación sobre los efectos que el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo produce en el organismo, para tratar de comprender mejor los

mecanismos fisiológicos que intervienen para que existan estas mejoras, así como prolongar los estudios para comprobar efectividad a largo plazo, y con un mayor número de sujetos.

9. CONCLUSIONES

Hasta la actualidad, varios estudios han examinado el efecto del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) sobre la atrofia y fuerza de la musculatura que protege de la rodilla, así como el dolor articular en pacientes tras de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACL). A partir de la literatura actual, se observa una ligera evidencia sobre el efecto del entrenamiento con BFR para mantener o mejorar el tamaño de los músculos de la rodilla y la fuerza de extensores y flexores de la rodilla en pacientes después de una reconstrucción del ACL. No ha habido indicación de diferencias consistentes clínicamente significativas entre el entrenamiento con BFR y la terapia convencional. No obstante, el efecto positivo que este novedoso método nos ha demostrado, proporciona a la Fisioterapia una alternativa plausible para evitar la atrofia, mejorar la fuerza y reducir el dolor en pacientes que no toleran bien la alta carga del entrenamiento convencional tras una reconstrucción del ACL, o poblaciones adultas con imposibilidad de levantar pesos muy elevados. Cabe destacar que la variabilidad resultante de las limitaciones postoperatorias, la intervención y los protocolos de oclusión (al no haber un único protocolo estandarizado), nublan el efecto general. Existe la necesidad de más estudios de investigación de alta calidad para comprender el efecto que tiene el entrenamiento con BFR en pacientes con el ligamento cruzado anterior reconstruido. Las investigaciones futuras deberían explorar las deficiencias residuales en la fuerza de la rodilla, el tamaño muscular y los resultados subjetivos de la rodilla después del primer año de la reconstrucción del ACL.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., LázaroHaro, C., & Cugat, R. (2009). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, 17(7), 705–729.
- Bradsell, H., & Frank, R. M. (2022). Anterior cruciate ligament injury prevention. *Annals of joint*, 7.
- Della Villa, F., Buckthorpe, M., Grassi, A., Nabiuzzi, A., Tosarelli, F., Zaffagnini, S., & Della Villa, S. (2020). Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British journal of sports medicine*, 54(23), 1423-1432.
- Duthon, V. B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J. H., Fritschy, D., & Menetrey, J. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 14, 204-213.
- Forriol, F., Maestro, A., & Vaquero, J. (2008). El ligamento cruzado anterior: morfología y función. *Trauma Fund MAPFRE*, 19(1), 7-1.
- Franz, A., Praetorius, A., Raeder, C. *et al.* Blood flow restriction training in the pre- and postoperative phases of joint surgery. *Arthroscopie* 36, 252–260 (2023)
- Hughes, L., & Patterson, S. D. (2023). Blood Flow Restriction Training and Return to Play Following Knee Surgery. In S. L. Sherman, J. Chahla, S. A. Rodeo, & R. LaPrade (Eds.), *Knee Arthroscopy and Knee Preservation Surgery* (1st ed., pp. 1-16).
- Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F., Gissane, C., McCarthy, D., Clarke, T., ... & Patterson, S. D. (2019). 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 Medicine*, 49, 1787-1805.
- Jack, R. A., 2nd, Lambert, B. S., Hedt, C. A., Delgado, D., Goble, H., & McCulloch, P. C. (2023). Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports health*, 15(3), 361–371. <https://doi.org/10.1177/19417381221101006>
- Jung, W. S., Kim, S. H., Nam, S. S., Kim, J. W., & Moon, H. W. (2022). Effects of rehabilitation exercise with blood flow restriction after anterior cruciate ligament reconstruction. *Applied Sciences*, 12(23), 12058.
- Kilgas, M. A., Lytle, L. L. M., Drum, S. N., & Elmer, S. J. (2019). Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *International journal of sports medicine*, 40(10), 650–656. <https://doi.org/10.1055/a-0961-1434>

- Kosy, J. D., & Mandalia, V. I. (2018). Anterior cruciate ligament mechanoreceptors and their potential importance in remnant-preserving reconstruction: a review of basic science and clinical findings. *The journal of knee surgery*, 31(08), 736-746.
- Kulczycka, P., Larbi, A., Malghem, J., Thienpont, E., Vande Berg, B., & Lecouvet, F. (2015). Imaging ACL reconstructions and their 21 complications. *Diagnostic and interventional imaging*, 96(1), 11–19.
- Li, X., Li, J., Qing, L. et al. Effect of quadriceps training at different levels of blood flow restriction on quadriceps strength and thickness in the mid-term postoperative period after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled external pilot study. *BMC Musculoskelet Disord* **24**, 360 (2023)
- 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.
- Patinharayil G. (2017). Future trends in ACL rupture management. *Journal of orthopaedics*, 14(1), A1–A4.
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., ... & Loenneke, J. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in physiology*, 10, 448053.
- Scott BR, et al. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med*. 2015;45(3):313–25.
- Seitz, A. M., Murrmann, M., Ignatius, A., Dürselen, L., Friemert, B., & von Lübken, F. (2021). Neuromapping of the capsuloligamentous knee joint structures. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 3 (2), e555-e563.
- Takahashi, S., Nagano, Y., Ito, W., Kido, Y., & Okuwaki, T. (2019). A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball. *Medicine*, 98(26), e16030.
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(12), 2035–2039. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>

**“EFECTOS DEL “BLOOD FLOW RESTRICTION
TRAINING” EN PACIENTES CON RECONSTRUCCIÓN
DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN
SISTEMÁTICA”**