

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA



**ENTRENAMIENTO DE RESTRICCIÓN DEL FLUJO
SANGUÍNEO EN PACIENTES INTERVENIDOS DEL
LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR**
Revisión bibliográfica

AUTOR: Salas Córdoba, Marcos

TUTOR: José Antonio Torrente de la Rosa

DEPARTAMENTO: Patología y cirugía

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

CONVOCATORIA: junio

ÍNDICE

1. Resumen y palabras clave.....	5
2. Abstract and key words.....	7
3. Introducción.....	9
4. Objetivos.....	12
5. Material y métodos.....	14
6. Resultados.....	20
7. Discusión.....	28
8. Conclusiones.....	31
9. Bibliografía.....	33



1. Resumen y palabras clave

Introducción

Una lesión muy común es la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA), la mayoría de pacientes son derivados a cirugía para su reconstrucción y tras esta experimentan una pérdida de fuerza y de volumen del cuádriceps.

Objetivos

El objetivo de esta revisión bibliográfica sería determinar si en las personas intervenidas del ligamento cruzado anterior, el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo es efectivo para mejorar la fuerza y el tamaño del cuádriceps.

Material y métodos

Búsqueda de ensayos clínicos y aleatorizados en las bases de datos de pubmed, scopus, science direct y PEDro. Incluyendo aquellos artículos publicados entre 2017 y 2023 y que relacionen el entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo (BFRT) con la rehabilitación tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA).

Resultados

La revisión de artículos muestra que el BFRT mejora la fuerza del cuádriceps y aumenta el grosor de este. También muestra que con una menor carga se puede conseguir los mismos efectos que el entrenamiento tradicional. Esta técnica no solo es efectiva tras la cirugía si no que varios años después también tiene efectos positivos en los miembros afectados.

Conclusión

El BFRT es una técnica con beneficios para los pacientes intervenidos de LCA ya que ayuda a mejorar su fuerza y aumentar el tamaño de la musculatura del cuádriceps con cargas más reducidas.

Palabras clave

“ligamento cruzado anterior”, “restricción del flujo sanguíneo”, “lesiones del ligamento cruzado anterior”

2. Abstract and key words

Introduction

A very common injury is anterior cruciate ligament (ACL) rupture; most patients are referred to surgery for reconstruction and after this they experience a loss of strength and volume of the quadriceps.

Objectives

The objective of this bibliographical review would be to determine if in people operated on the anterior cruciate ligament, is training with blood flow restriction effective in improving quadriceps strength and size?

Material and methods

Search for clinical and randomized trials in the pubmed, scopus, science direct and PEDro databases. Including those articles published between 2017 and 2023 that relate blood flow restriction training (BFRT) with rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR).

Results

The article review shows that BFRT improves quadriceps strength and increases quadriceps thickness. It also shows that with a lower load you can achieve the same effects as traditional training. This technique is not only effective after surgery, but several years later it also has positive effects on the affected limbs.

Conclusion

The BFRT is a technique with benefits for ACL patients since it helps to improve their strength and increase the size of the quadriceps musculature with lower loads.

Key words

“anterior cruciate ligament”, “blood flow restriction”, “anterior cruciate ligament injuries”

3. Introducción

-Estructura y función del ligamento cruzado anterior (LCA)

El LCA está compuesto de fibras de colágeno tipo I. Este se divide en dos paquetes principales, el haz posterolateral (PL) y el haz anteromedial (AM). La longitud media del haz AM es de 33mm y de 18mm para el haz PL. El ancho total del LCA en cadáveres es de 11 a 17mm con un promedio de 11mm. El área transversal promedio del LCA es de 36 y 47 mm² para mujeres y hombres respectivamente.

EL origen de ambos haces se da en el lado posteromedial del cóndilo femoral, y se insertan en la parte anterior de la eminencia intercondílea tibial. El amplio punto de inserción del LCA se produce de modo que no haya pinzamiento fisiológico en la muesca intercondílea en extensión completa, por lo tanto, la colocación de la inserción del injerto del LCA en la cirugía reconstructiva debe seguir este principio.

El LCA controla el movimiento anterior de la tibia e inhibe los rangos finales de la rotación tibial. (1)

- Epidemiología de la reconstrucción del LCA

En Italia durante un periodo de 15 años se detectaron 248.234 RLCA y la tasa de incidencia por año en 100.000 habitantes osciló entre 21,70 y 33,60. La relación global hombre/mujer fue de 4,54 casos más de hombre que de mujer y la duración de la hospitalización varió de cuatro días en 2001 a dos en 2015. (2)

-Reconstrucción del LCA

Para la reconstrucción del LCA las opciones se dividen en dos tipos, autoinjerto y aloinjerto (3). Los autoinjertos frecuentemente suelen ser hueso- tendón rotuliano- hueso (BTB), cuádriceps e isquiotibiales; mientras que los aloinjertos utilizados con frecuencia incluyen BTB, isquiotibiales, tibial anterior y posterior, peroneos y tendón de Aquiles. Se ha comprobado que el autoinjerto supera los aloinjertos. Este último se puede considerar para pacientes menos activos que estén dispuestos a aceptar un mayor riesgo de fracaso del injerto. (4)

Los autoinjertos más empleados son el uso de tendones isquiotibiales (HT) y BTB. Varios estudios que hicieron esta comparación no encontraron diferencias en el resultado subjetivo, pero sí un mejor control de laxitud y menos roturas con el BTB. Por otro lado, las molestias al arrodillarse y especialmente el riesgo de dolor anterior es menor en el injerto HT. (5)(6)

-Secuelas de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA)

Después de la reconstrucción del LCA, los pacientes experimentan una gran pérdida de fuerza en el miembro inferior afecto debido a la atrofia muscular y a la inhibición artrogénica (7).

Durante las primeras 12 semanas tras la cirugía la debilidad de los músculos extensores y flexores de rodilla es sustancial, esto afecta a la función de las extremidades inferiores y a la calidad de vida.

Esta debilidad muscular puede persistir durante años después de la cirugía, lo que se asocia con reducciones crónicas en la función, un alto riesgo de nuevas lesiones y degeneración articular.

Es por esto que hay que abordar la debilidad muscular desde el principio de la rehabilitación. (8) En este estudio buscamos una manera de trabajar esta debilidad de manera eficaz y con un menor coste o desgaste en el paciente, para ello empleamos una técnica novedosa que describimos a continuación.

-Restricción de flujo sanguíneo (BFR)

La BFR se ha utilizado con éxito en poblaciones saludables, demostrando ganancias de fuerza equivalentes y /o mayores que las formas tradicionales de ejercicio. Por esto, el objetivo de esta revisión bibliográfica es determinar si tiene el mismo efecto positivo en pacientes con patología en el LCA (9) (13).

Es una técnica novedosa que involucra el uso de un sistema de manguito/torniquete colocado alrededor del extremo proximal de una extremidad para mantener el flujo arterial mientras se restringe el retorno venoso. (10)

Esta técnica es una nueva posible intervención para el tratamiento tras la RLCA ya que la oclusión parcial del flujo sanguíneo permite entrenar con cargas reducidas produciendo los mismos efectos que si los pacientes entrenasen con cargas elevadas (11).



4. Objetivos

En las personas intervenidas del ligamento cruzado anterior, ¿el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo es efectivo para mejorar la fuerza y el tamaño del cuádriceps?

Este estudio tiene como objetivo investigar el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (BFRT) en pacientes intervenidos de LCA y ver si es efectivo como lo es en atletas sanos para mejorar la fuerza e hipertrofia del cuádriceps mejorando por lo tanto la rehabilitación estándar aplicada en diferentes centros como hospitales, clínicas o mutuas.

Otro objetivo sería ver si con una menor carga conseguimos mismos o mejores resultados que un entrenamiento de fuerza ya que esto es beneficioso para los pacientes.

Por otro lado, se quiere observar si estos beneficios se amplían a la musculatura flexora, así como si son aplicables varios años después de la intervención.

Finalmente se desea comprobar si la terapia tiene algún otro efecto como reducción del dolor o edema y si se podría aplicar en los domicilios.





5. Material y método

Este estudio es una revisión bibliográfica a cerca de los estudios que relacionan el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo y la lesión del LCA.

Ha sido aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche con el COIR para TFGs: TFG.GFI.JATDLR.MSC.230417.

Para la búsqueda de artículos se han usado las siguientes bases de datos: pubmed, scopus, science direct y PEDro. Las palabras claves que se han ido utilizando hasta hallar la ecuación final de búsqueda han sido: “anterior cruciate ligament”, “anterior cruciate ligament injuries”, “rehabilitation”, “strength exercises” y “blood flow restriction”. Estas palabras se han unido mediante el operador booleano AND. Por otro lado, los criterios de exclusión e inclusión han sido:

- 2017-2023
- 19+ años
- Ensayo clínico
- Ensayo aleatorizado.

La ecuación final de búsqueda ha quedado de la siguiente manera: (**“anterior cruciate ligament injuries”**) AND (**“Blood Flow Restriction”**). Esta ecuación se ha adaptado a las diferentes bases de datos.

En PubMed la búsqueda tuvo 5 resultados, uno de los cuales fue descartado por ser un tratamiento previo a la intervención quirúrgica y otro por no encontrar el texto completo. Esto deja 3 artículos.

En Scopus la búsqueda proporcionó 16 artículos, pero en esta base no pudimos filtrar los ensayos clínicos ni aleatorizados, por lo que tras hacerlo manualmente se obtuvieron 5 resultados.

Science Direct mostró 10 resultados y sólo uno de ellos se adaptaba a las características del trabajo, sin embargo, estaba ya repetido con un artículo de Scopus.

A demás de estas bases de datos se obtuvo un artículo por vía de un profesor de la universidad, el cual fue incluido en el estudio porque se adaptaba a las características de este.

Todo esto nos deja un total de 9 artículos mostrados en la “figura 2”, a los cuales se les ha pasado la escala PEDro. Esta escala se utiliza para valorar la calidad de los estudios.

Contiene un total de 11 ítems que aparecen en la “figura 1”, y la media de los artículos seleccionados es de 7.55 puntos como se puede ver en la “tabla 1”.

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:

Figura 1 Ítems escala PEDro

Tabla 1. Escala PEDro												
Artículo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	T
Hughe L et al. 2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Curran M.T. et al. 2020	X	X		X				X	X	X	X	7
Kacin A. et al 2021	X			X	X			X	X	X	X	7
Vieira de Melo R.F. et al. 2022	X	X	X	X				X	X	X	X	8
Noyes F.R. et al 2021	X							X	X	X	X	5
Telfer S. et al. 2021	X			X				X	X	X	X	6
Kilgas M.A. et al. 2019	X			X				X	X	X	X	6
Erickson L.N. et al. 2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Lambert B. et al. 2019	X	X		X				X	X	X	X	7

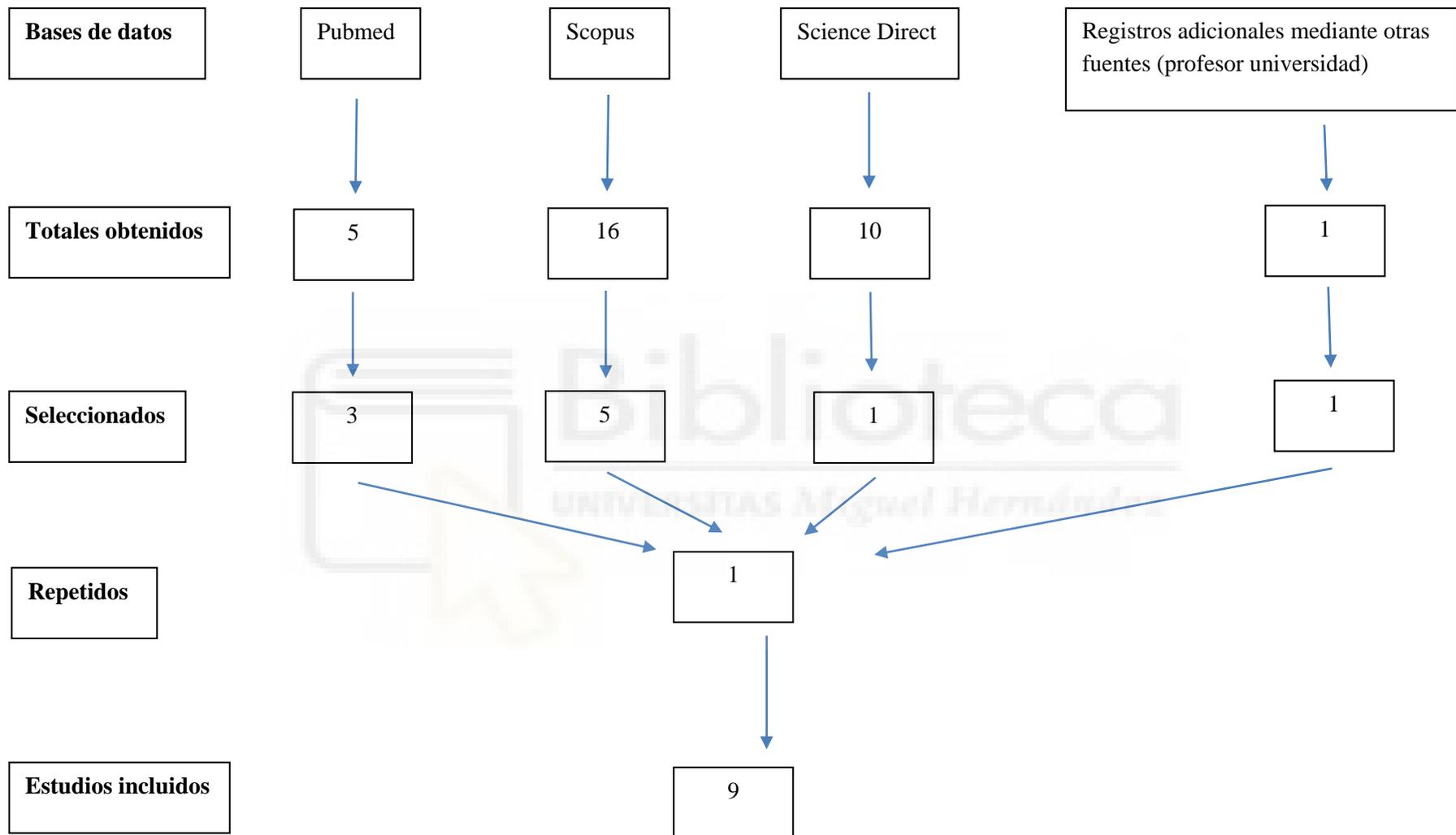


Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda de artículos



6. Resultados

Los artículos seleccionados aparecen en la “tabla 2” con un breve resumen e información acerca de estos. A pesar de esto, se redacta un resumen global de los resultados agrupando la información que nos aportan:

De los artículos seleccionados 7 de ellos hablan de un aumento de la fuerza en la musculatura del cuádriceps (12,13,14,17,18,19,20); dos de ellos de una mejora en la hipertrofia, es decir de aumento de grosor (12,13). En otro artículo también destaca la mejora en la resistencia (17). En cuanto al dolor y al derrame también se encuentran beneficios (12,19). Todas estas mejoras en la musculatura y la articulación de la rodilla nos llevan a una mejor función de la rodilla (20).

Uno de los estudios muestra que además de recuperar el músculo en mayor medida que la rehabilitación estándar sola, la adición de BFR a los ejercicios de rehabilitación del LCA parece tener un efecto protector sobre el hueso (15).

En cuanto a la restricción de flujo sanguíneo el valor más común en los artículos nos indica una oclusión del 80% (12,15,16,18,19,20). Por otro lado, el porcentaje más común sobre una repetición máxima (1RM) en el que se ha trabajado con BFR es del 30% (12,18,20).

Un plan de entrenamiento bien definido y con buenos resultados en la recuperación de la reconstrucción del LCA ha sido el siguiente: 4 series de 30-15-15-15 repeticiones separadas por 30s de descanso. (15)

Por otro lado, si queremos mejorar la resistencia a parte de la fuerza se puede trabajar con un mayor número de repeticiones y realizar 4 series de 40 repeticiones hasta el fallo voluntario, sólo con el miembro afecto. (17)

Tabla 2. Resumen de artículos						
Autor/año	Diseño	Objetivos	Población	Periodo de seguimiento	Intervención	Resultados
Hughe L et al. 2019	Ensayo controlado aleatorizado	Comparar la efectividad de BFR-RT y el entrenamiento de resistencia de carga pesada tradicional (HL-RT) para mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético, la función física, el dolor y la efusión en pacientes con ACLR después de la cirugía	N=24 HL-RT n=12 BFR-RT n=12	8 semanas 16 sesiones	Entrenamiento de prensa de piernas unilateral bisemanal en ambas extremidades, junto con la rehabilitación hospitalaria estándar. HL-RT al 70% de 1RM BFR-RT al 30% de 1RM La oclusión de torniquete era del 80%.	BRF-RT y HL-RT mejoran de manera similar la hipertrofia y fuerza del músculo BRF-RT reduce más el dolor y derrame en las articulaciones de la rodilla
Erickson L.N. et al. 2019	ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo	evaluar el efecto de la BFRT sobre la fuerza del cuádriceps y la biomecánica de la rodilla e identificar los posibles mecanismos de acción de la BFRT a nivel celular y morfológico de los cuádriceps	N=60 60 participantes divididos en fisioterapia + BFRT o fisioterapia + BFRT placebo	BFRT prequirurgico: 4 semanas 12 sesiones BFRT postquirúrgico: 3 veces/semana durante 4/5 meses	Sesiones de 20 minutos con énfasis en el fortalecimiento del cuádriceps. Los ejercicios van cambiando según cumplan los objetivos de cada etapa.	Los resultados de este estudio pueden contribuir a un tratamiento específico mejorado para la pérdida prolongada de fuerza del cuádriceps asociada con la lesión y reconstrucción del ligamento cruzado anterior

Autor/año	Diseño	Objetivos	Población	Periodo de seguimiento	Intervención	Resultados
Kilgas M.A. et al. 2019	Ensayo clínico	Evaluar la efectividad de un programa de ejercicios de BFR en el hogar para aumentar el tamaño y la fuerza del cuádriceps varios años después de ACLR	N=18 BFRT n=9 G. control n=9	4 semanas 20 sesiones	25 minutos de: extensión de rodilla con una sola pierna, media sentadilla con el peso corporal y caminar Oclusión del 50%	La implementación del ejercicio BFR varios años después de ACLR aumentó el grosor del músculo cuádriceps y la fuerza extensora de la rodilla y redujo la asimetría. Además, el programa domiciliario que constaba de ejercicios BFR de peso corporal y caminata fue factible, seguro y económico.
Lambert B. et al. 2019	Ensayo clínico	determinar si BFR proporciona beneficios adicionales cuando se agrega a la rehabilitación estándar en pacientes jóvenes activos después de la reconstrucción del LCA con respecto a la preservación del	N=14 BFRT n=7 G. control n=7	12 semanas	Contracciones de cuádriceps semana 1-3 Prensa bilateral de piernas semana 3-12 Prensa excéntrica de piernas semanas 4-12 Curl de isquiritibiales semana 4-6	Además de recuperar músculo en mayor medida que la rehabilitación estándar sola, la adición de BFR a los ejercicios de rehabilitación del LCA parece tener un efecto protector sobre el hueso.

Autor/año	Diseño	Objetivos	Población	Periodo de seguimiento	Intervención	Resultados
Curran M.T. et al. 2020	Ensayo controlado aleatorizado	Examinar la eficacia de BFRT con ejercicio de alta intensidad en la recuperación de la función del músculo cuádriceps en pacientes sometidos a ACLR	N=34 Concéntrico n=8 Excéntrico n=8 Concéntrico con BFRT n=9 Excéntrico con BFRT n=9	8 semanas 16 sesiones	Curl excéntrico de isquiotibiales semana 7-12 Oclusión del 80% Para concéntrico y concéntrico con BRFT: prensa de piernas isocinética con una sola pierna, a una intensidad del 70 % de 1RM durante 5 series de 10 repeticiones. Para excéntrico y excéntrico con BRFT igual, pero al 20% de 1RM. La oclusión de torniquete era del 80%.	BFRT con ejercicio de fuerza de alta intensidad agregado a un programa de rehabilitación de ACL no mejoró significativamente la recuperación de la fuerza, activación o atrofia del músculo cuádriceps en comparación con una intervención de alta intensidad sin BFRT.
Kacin A. et al 2021	Ensayo controlado aleatorizado	La hipótesis fue que el entrenamiento LL-BFR desencadena ganancias aumentadas en la fuerza y el tamaño de los músculos de la rodilla	N=18 LL-BFR n=6 LL-BFR simulado n=6 Grupo control n=6	3 semanas 9 sesiones	Cada sesión del grupo BFR consistió en 4 series de extensiones y flexiones de rodilla a 40 RM hasta el fallo voluntario,	Los resultados muestran una mayor fuerza y resistencia de los extensores de la rodilla pero menos de los flexores

Autor/año	Diseño	Objetivos	Población	Periodo de seguimiento	Intervención	Resultados
Noyes F.R. et al 2021	Ensayo clínico	Informar sobre un estudio prospectivo de pacientes que se sometieron a BFRT por déficit marcados de los músculos cuádriceps o isquiotibiales después de no responder a la rehabilitación tradicional después de una cirugía de rodilla	N=27 BFRT n=27	Todos: 9 sesiones 14 pacientes: 18 sesiones	Trabajo al 30% de 1RM en: prensa de piernas, extensión de rodilla, minisentadillas y flexiones de isquiotibiales con una presión de oclusión arterial del 60 % al 80 %	BFRT produjo mejoras estadísticamente significativas en las mediciones del torque máximo de los cuádriceps y los isquiotibiales después de 9 y 18 sesiones
Telfer S. et al. 2021	Ensayo controlado aleatorizado	determinar los efectos agudos de la BFR en el desempeño de un protocolo de ejercicios de intensificación y evaluar la aceptabilidad de la técnica	N=40 BFRT n=20 Grupo control n=20	X	Oclusión del 80% 30 ejercicios de step-up, un descanso de 30 s. (de pie), luego 3 series de 15 step-ups, cada una separada por un Descanso de pie de 30 s.	Es una técnica segura para realizar tras ACLR. Hay cambios en los músculos de las poblaciones sanas y clínicas y puede producir mejoras en la fuerza muscular y disminución de

Autor/año	Diseño	Objetivos	Población	Periodo de seguimiento	Intervención	Resultados
Vieira de Melo R.F. et al. 2022	Ensayo controlado aleatorizado	Comparar la ganancia de fuerza muscular en los músculos cuádriceps e isquiotibiales en pacientes con ACLR en ejercicios con y sin BFRT	N=28 BFR n=14 Control n=14	12 semanas 24 sesiones	Oclusión del 80%. BRF: 30% de 1RM 1x30rep. + 3x15rep G. control: 70% de 1RM 3x10rep	El grupo BRF mostró una mejora más rápida en cuádriceps e isquiotibiales tanto en fuerza como en función de rodilla

BFRT: entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo

G. control: Grupo control

BFR-RT: entrenamiento de resistencia con restricción del flujo sanguíneo

HL-RT: entrenamiento de resistencia de carga pesada tradicional

LL-BFR: restricción del flujo sanguíneo de baja carga

ACLR: reconstrucción del ligamento cruzado anterior

RM: repetición máxima **mmHg:** milímetro de mercurio

rep: repetición **s.:** segundos



7. Discusión

Este estudio aporta evidencia científica sobre el entrenamiento de BFR en pacientes intervenidos de LCA. De esta manera intenta aportar una técnica para la rehabilitación del LCA diferente a las empleadas habitualmente y más actual (21).

En atletas sanos se ha visto que el entrenamiento de BFR mejora la fuerza y el tamaño de la musculatura (22) (23) y mediante una revisión bibliográfica se ha estudiado si esto es aplicable a los pacientes intervenidos de LCA.

Según Hugel L. (12) el BFRT puede mejorar la fuerza y la hipertrofia en la misma medida que entrenamiento de resistencia de carga pesada tradicional. Esto quiere decir que, si el entrenamiento tradicional se trabaja al 70% de 1RM y el BFRT se trabaja al 30% de 1RM, con menor esfuerzo (24) conseguiríamos el mismo o mejor resultado. Por otro lado, este autor a cerca del BFRT nos indica que tiene mayor reducción del dolor y derrame en las articulaciones de la rodilla, lo que lleva a mayores mejoras generales en la función física. Esto lo hace más apropiado para la rehabilitación temprana en pacientes con RLCA.

Por otro lado, Lambert B. (15) dice que el BFRT ayuda a recuperar el músculo en mayor medida que la rehabilitación estándar sola y si aplicamos esta técnica a los ejercicios de rehabilitación parece tener un efecto protector sobre el hueso, sin embargo, sí que hace referencia a que hacen falta estudios futuros para examinar los mecanismos bioquímicos y mecánicos por los cuales BFR puede actuar simultáneamente sobre el hueso y el músculo. Este mismo autor como hemos nombrado anteriormente, propone un entrenamiento de 4 series de 30-15-15-15 repeticiones descansando 30 segundos, en cuanto a los ejercicios nos detalla lo siguiente:

Contracciones de cuádriceps semana 1-3

Prensa bilateral de piernas semana 3-12

Prensa excéntrica de piernas semanas 4-12

Curl de isquiotibiales semana 4-6

Curl excéntrico de isquiotibiales semana 7-12

No obstante, Currant M.T. (16) compara el trabajo concéntrico y excéntrico con y sin BFR con ejercicio de alta intensidad. Este estudio no encuentra diferencias significativas entre los grupos. Esto se puede deber a que como en el resto de los estudios BFRT debe trabajar a una menor carga que sin esta restricción del flujo. Por otro lado, ante una falta de diferencias en la mejora, anteriormente hemos visto que BFR requiere menor esfuerzo por lo que puede seguir siendo una opción viable.

El ensayo controlado aleatorizado de Viera de Melo R.F. (20) apuesta por el entrenamiento mediante BFR ya que sus resultados le indican que este tratamiento mejora de manera más rápida la fuerza en cuádriceps e isquiotibiales, así como la función de rodilla que es el objetivo de la fisioterapia ante una lesión, volver a ser lo más funcional posible. Sin embargo,

Kacin A. (17) muestra una mejora de la fuerza en los extensores, pero no en los flexores de rodilla.

Un dato a destacar sobre este entrenamiento, es que Kilgas M.A. (14) estudió esta técnica varios años después de la intervención, y no sólo mejora en la rehabilitación tras la cirugía como hemos visto anteriormente si no que 5+- 2 años después de la cirugía el BFRT mejoró el grosor y la fuerza de los pacientes. Además, en este estudio el entrenamiento se realizó en casa de manera que se obtuvieron mejoras de manera factible, segura y económica.

Es complicado sacar un consenso entre todos los artículos ya que no todos trabajan de la misma manera y con los mismos ejercicios. Sí que hay una mayoría como se ha mostrado en los resultados en cuanto a porcentaje de carga y de oclusión. En cuanto a los ejercicios la mayoría de artículos trabajan sobre el cuádriceps y muestran resultados positivos, aunque para los isquiotibiales tenemos un resultado favorable y otro en contra. En comparación con el resto de artículos, Kacin A. (17) que no muestra mejoras en la musculatura flexora se puede deber a que ha trabajado en 40 repeticiones y no es lo idóneo para el entrenamiento de fuerza o hipertrofia.

En otra revisión sistemática que estudian el entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo en la rehabilitación musculoesquelética clínica (25) encuentran también que al comparar el entrenamiento de baja carga con el BFRT de baja carga es más efectivo, tolerable y por lo tanto, una herramienta de rehabilitación clínica potencial.

Finalmente, como hemos hablado anteriormente las limitaciones de este estudio es que no todos trabajan los mismos ejercicios y las mismas repeticiones, aunque por otro lado nos da un abanico de diferentes maneras de trabajar con esta técnica. Otras limitaciones han sido que durante la búsqueda se ha tenido que obviar un artículo por ser de pago, y otro de ellos no muestra muy bien los resultados por querer mostrarlos en un congreso.



8. Conclusiones

En las personas intervenidas de LCA el entrenamiento de BFR es efectivo para mejorar el tamaño y la fuerza del cuádriceps. También puede ayudar con la musculatura flexora de rodilla, aunque habría que investigarlo más, así como la domiciliación de este tratamiento. Por otro lado, esta técnica es útil en la rehabilitación tras la cirugía, pero también los es varios años después de esta, por lo que se podría implementar en pacientes que no han logrado una buena rehabilitación y siguen teniendo molestias. Además, implica por parte del paciente menor esfuerzo ya que con menos carga conseguimos los mismos o mejores resultados que un entrenamiento de fuerza. Finalmente, a parte de estos beneficios, se ha observado una reducción del dolor y del edema.





9. Bibliografia

1. Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J Sport Med*. 2012 Jul;22(4):349-55.
2. Longo UG, Nagai K, Salvatore G, Cella E, Candela V, Cappelli F, Ciccozzi M, Denaro V. Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Surgery in Italy: A 15-Year Nationwide Registry Study. *J Clin Med*. 2021 Jan 10;10(2):223.
3. Richmond JC. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2018 Dec;26(4):165-167.
4. 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.
5. Thauinat M, Fayard JM, Sonnery-Cottet B. Hamstring tendons or bone-patellar tendon-bone graft for anterior cruciate ligament reconstruction? *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019 Feb;105(1S):S89-S94.
6. Thauinat M, Fayard JM, Sonnery-Cottet B. Hamstring tendons or bone-patellar tendon-bone graft for anterior cruciate ligament reconstruction? *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019 Feb;105(1S):S89-S94.
7. Toth MJ, Tourville TW, Voigt TB, Choquette RH, Anair BM, Falcone MJ, Failla MJ, Stevens-Lapslaey JE, Endres NK, Slaughterbeck JR, Beynnon BD. Utility of Neuromuscular Electrical Stimulation to Preserve Quadriceps Muscle Fiber Size and Contractility After Anterior Cruciate Ligament Injuries and Reconstruction: A Randomized, Sham-Controlled, Blinded Trial. *Am J Sports Med*. 2020 Aug;48(10):2429-2437.
8. 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.

9. Pignanelli C, Christiansen D, Burr JF. Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *J Appl Physiol* (1985). 2021 Apr 1;130(4):1163-1170.
10. 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.
11. Saatmann N, Zaharia OP, Loenneke JP, Roden M, Pesta DH. Effects of Blood Flow Restriction Exercise and Possible Applications in Type 2 Diabetes. *Trends Endocrinol Metab*. 2021 Feb;32(2):106-117.
12. 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.
13. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, Andersen AH, Fry CS, Noehren BW. Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther*. 2019 Aug 1;99(8):1010-1019.
14. 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.
15. Lambert B, Hedt CA, Jack RA, Moreno M, Delgado D, Harris JD, McCulloch PC. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction. *Orthop J Sports Med*. 2019 Mar 29;7(3 suppl2):2325967119S00196.
16. 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.
17. Kacin A, Drobnič M, Marš T, Miš K, Petrič M, Weber D, Tomc Žargi T, Martinčič D, Pirkmajer S. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles

- to blood flow restricted training in patients with ACL rupture. *Scand J Med Sci Sports*. 2021 Aug;31(8):1636-1646.
18. Noyes, F. R., Barber-Westin, S. D., & Sipes, L. (2021). Blood flow restriction training can improve peak torque strength in chronic atrophic postoperative quadriceps and hamstrings muscles. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 37(9), 2860-2869.
 19. Telfer, S., Calhoun, J., Bigham, J. J., Mand, S., Gellert, J. M., Hagen, M. S., . . . Gee, A. O. (2021). Biomechanical effects of blood flow restriction training after ACL reconstruction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 53(1), 115-123.
 20. Vieira de Melo, R. F., Komatsu, W. R., Freitas, M. S., Vieira de Melo, M. E., & Cohen, M. (2022). Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery: A randomized controlled trial. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 54, jrm00337.
 21. Pignanelli C, Christiansen D, Burr JF. Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *J Appl Physiol* (1985). 2021 Apr 1;130(4):1163-1170.
 22. 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.
 23. Watson R, Sullivan B, Stone A, Jacobs C, Malone T, Heebner N, Noehren B. Blood Flow Restriction Therapy: An Evidence-Based Approach to Postoperative Rehabilitation. *JBJS Rev*. 2022 Oct 3;10(10).
 24. Reina-Ruiz ÁJ, Martínez-Cal J, Molina-Torres G, Romero-Galisteo RP, Galán-Mercant A, Carrasco-Vega E, González-Sánchez M. Effectiveness of Blood Flow Restriction on Functionality, Quality of Life and Pain in Patients with Neuromusculoskeletal Pathologies: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 12;20(2):1401.
 25. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017 Jul;51(13):1003-1011.