

BENEFICIOS DEL ENTRENAMIENTO CON RESTRICCIÓN DE FLUJO SANGUÍNEO EN READAPTACIÓN DE LESIONES DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

**GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD
FÍSICA Y EL DEPORTE Y GRADO EN
FISIOTERAPIA**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD
FÍSICA Y EL DEPORTE**



Realizado por: Pablo Romeo Gabín y Alejandro Salgado Cuenca

Grupo TFG: Mix61

Año Académico: 2023-2024

Tutor/a: Daniel Frías López

Área: Revisión bibliográfica

Resumen

Esta revisión sistemática, trata de conocer los beneficios y las dosis óptimas de intensidad y oclusión en el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (RFS) en la readaptación de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA).

Metodología: Se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos en las bases de datos MEDLINE, CINAHL y SPORTDiscus con la siguiente ecuación de búsqueda avanzada: “blood flow restriction training AND anterior cruciate ligament AND quadriceps”. Además, hicimos dos búsquedas complementarias, una en Pubmed basándonos en el título del artículo y otra desde la revisión bibliográfica de uno de nuestros artículos de la discusión, cumpliendo los filtros marcados. Se han descartado las revisiones sistemáticas y los metaanálisis, además de los artículos que no utilizaran entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo.

Resultados: Se analizaron 15 estudios seleccionados, en los cuales se ha corroborado, en su mayoría, que la implementación de diversos protocolos, en cuanto a la intensidad de entrenamiento y oclusión vascular, conlleva en la mejora del dolor, la amplitud del rango de movimiento, así como un incremento significativo en la fuerza y volumen muscular.

Conclusiones: En general, la aplicación del entrenamiento con RFS mediante diversos protocolos presenta beneficios fisiológicos y funcionales. Es necesario llevar a cabo investigaciones futuras para ampliar la comprensión de estos resultados y validar la eficacia de dichos protocolos.

Palabras clave: “entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo”, “ligamento cruzado anterior” y “cuádriceps”.

Abstract

This systematic review seeks to understand the benefits and optimal doses of intensity and occlusion in blood flow restriction (RFS) training in the readaptation of anterior cruciate ligament (ACL) injuries.

Methods: A bibliographic review of scientific articles has been carried out in the MEDLINE, CINAHL and SPORTDiscus databases with the following advanced search equation: “blood flow restriction training AND anterior cruciate ligament AND quadriceps”. In addition, we did two complementary searches, one in Pubmed based on the title of the article and another from the bibliographic review of one of our discussion articles, complying with the marked filters. Systematic reviews and meta-analyses have been discarded, as well as articles that did not use blood flow restriction training.

Results: 15 selected studies were analyzed, in which the majority have been corroborated that the implementation of various protocols, in terms of training intensity and vascular occlusion, leads to improvement in pain, amplitude of the range of motion (ROM), as well as a significant increase in muscle strength and volume.

Conclusions: In general, the application of RFS therapy through various protocols presents physiological and functional benefits. Future research is needed to expand the understanding of these results and validate the effectiveness of such protocols.

Keywords: “blood flow restriction training”, “anterior cruciate ligament” y “quadriceps”.

Índice:

1. Introducción.....	5
2. Objetivos.....	8
3. Metodología.....	8
3.1. Diseño.....	8
3.2. Estrategia de búsqueda.....	8
3.3. Criterios de selección.....	9
3.4. Diagrama de flujo.....	10
4. Discusión.....	11
5. Futuras líneas de investigación.....	19
6. Conclusiones.....	20
7. Referencias bibliográficas.....	21
8. Anexos.....	24
8.1. Anexo 1. Cuadro resumen de autores.....	24

Índice de figuras

Figura 1.....	10
---------------	----

Índice de tablas

Tabla 1.....	24
--------------	----

1. Introducción

El ligamento cruzado anterior es una estructura formada por tejido conectivo denso positivo para colágeno tipo I. Se origina en la pared medial del cóndilo femoral lateral y se inserta en la mitad del área intercondílea. Contribuye significativamente a la estabilización y cinemática de la articulación de la rodilla (Petersen et al., 2002).

La rotura del ligamento cruzado anterior es una lesión que se produce con frecuencia en diferentes rangos de edad, pero que tiene mayor incidencia en una población joven que realiza actividad física con regularidad. Observamos una incidencia de 0,4-0,8 lesiones por cada 1000 al año y situamos la edad entre los 10 y 64 años (Sanchez-Alepuz et al., 2020). Este tipo de lesiones se encuentran entre las lesiones más comunes de las extremidades inferiores en el deporte y a menudo requieren reconstrucción quirúrgica (Charles et al., 2020).

Un creciente cuerpo de literatura muestra que los cambios periféricos (morfológicos y celulares) en el cuádriceps ocurren después de una lesión y reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA) que resultan en una debilidad prolongada del cuádriceps. Las deficiencias en la fuerza del cuádriceps después de la reconstrucción del LCA son comunes y están relacionadas con la biomecánica alterada de la rodilla. Además, la debilidad del cuádriceps se ha asociado con resultados negativos a corto y largo plazo, como una baja tasa de regreso al deporte, una reducción de la calidad de vida y una osteoartritis de aparición temprana (Erickson et al., 2019).

Como indican Charles et al. (2020), recuperar la masa y la fuerza muscular femoral después de la reconstrucción del LCA puede ser especialmente difícil. Erickson et al. (2019) sugieren el entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo como un método potencial para mejorar estos déficits. Por lo que esta revisión tiene como propósito conocer los beneficios del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo (RFS) sobre la articulación de la rodilla y la musculatura del cuádriceps femoral tras una lesión de ligamento cruzado anterior.

Como expresan Tramer et al. (2022), el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (RFS) es una técnica en la que se coloca un sistema de torniquete neumático o manguito presurizado alrededor de una extremidad para ocluir el retorno venoso mientras se mantiene el flujo arterial durante el ejercicio. Recientemente, RFS ha ganado popularidad en protocolos de fisioterapia y readaptación como un método de bajo costo y bajo riesgo de modalidad no quirúrgica. Tramer et al. (2022) añaden que el entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo ha ganado popularidad a medida que los pacientes y los proveedores buscan un regreso rápido a la actividad deportiva.

Según Erickson et al. (2019) y Tramer et al. (2022) se cree que los efectos acumulados de la fatiga, la tensión mecánica, el estrés metabólico y la hiperemia reactiva contribuyen a promover la adaptación del cuádriceps con una tensión mínima. Según Hylden et al. (2015) estos beneficios están relacionados con cambios hormonales, proliferación de células madre miógenas y síntesis de proteínas. También se ha demostrado que es seguro y eficaz para lograr fuerza muscular e hipertrofia en pacientes con lesión del LCA.

Viendo las comparaciones entre la extremidad lesionada y la sana, la diferencia en la fuerza extensora de la rodilla puede ser de hasta el 30% en el lado operado seis meses después de la reconstrucción, además la diferencia en el área transversal del cuádriceps entre el lado sano y el lado intervenido es del 18% después de seis años. Una mala activación o mal funcionamiento de la musculatura del cuádriceps tiene el potencial de crear patrones motores anormales, lo que puede llegar a provocar dificultades en nuestra vida cotidiana en cualquier gesto que en principio no represente algo complejo, asimismo también aumenta las probabilidades de una posible recidiva. Estas compensaciones pueden llegar a condicionar la realización de las técnicas de salto vertical, aterrizaje de salto vertical y aterrizaje de una sola extremidad, lo que nos obliga a restablecer este tipo de movimientos desde el principio enseñando un buen patrón para que de esta manera se pueda volver a la realización de deporte de manera segura y sin restricciones (Charles et al., 2020).

Ante los efectos y efectos secundarios vistos y descritos, principalmente la atrofia y la debilidad muscular tras la operación, el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo nos da un nuevo enfoque para tratar estos déficits (Colapietro et al., 2023). Sabiendo y teniendo en cuenta el nuevo enfoque, de acuerdo con Koc et al. (2022), tras la reconstrucción del LCA, el entrenamiento con cargas externas >60% de 1RM puede tener efectos adversos o perjudiciales en el dolor de la articulación de la rodilla y la laxitud del injerto del LCA. Por lo tanto, el entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo con cargas externas del 20-40% del 1RM se propone como alternativa a la rehabilitación de fuerza tradicional. Erickson et al. (2019) confirman que los pacientes pueden entrenar con cargas reducidas y pueden recibir los mismos beneficios de entrenamiento que si estuvieran entrenando con cargas elevadas.

Para realizar este tipo de entrenamiento, colocamos un manguito o cinta isquémica en la parte proximal del cuádriceps, para de esta manera generar una oclusión venosa pero no arterial, una vez que se pone en práctica de manera regular este entrenamiento, se cree que la hipertrofia se produce gracias a la combinación de la oclusión venosa, que no arterial, unido con el entrenamiento de resistencia, esto genera una elevada producción sistemática de hormonas e inflamación celular, la producción de especies reactivas del oxígeno, la señalización anabólica intramuscular y el reclutamiento de fibras de contracción rápida (Koc et al., 2022).

Además, lo ideal sería entrenar con ausencia de dolor en las articulaciones y especialmente en la rodilla y musculatura que la rodea, por lo que el entrenamiento con restricción de flujo se puede combinar con entrenamiento de fuerza de baja intensidad para así generar unas adaptaciones útiles sin la necesidad de aumentar en exceso la intensidad del entrenamiento, generando así menos estrés en las articulaciones (Charles et al., 2020).

Finalmente, los protocolos de readaptación tras la reconstrucción del LCA se centran en la función del paciente mediante el índice de simetría, la atrofia

muscular del muslo y la debilidad residual del cuádriceps y los isquiotibiales después de la intervención quirúrgica. Estos déficits específicos pueden persistir más de 2 años tras la reconstrucción e influyen negativamente en el riesgo de lesión recurrente del LCA, quinesofobia, y el retorno a la actividad física, que afectan a la salud a largo plazo (Colapietro et al., 2023).

Esta revisión sistemática se propone investigar los posibles beneficios del entrenamiento con restricción de flujo en relación con la atrofia y la fuerza del músculo cuádriceps, así como en la gestión del dolor en la articulación de la rodilla en pacientes con lesión del LCA. Además, busca establecer las dosis adecuadas en cuanto a la intensidad del entrenamiento y el grado de oclusión vascular que resultan efectivos en la readaptación de esta lesión somática.

2. Objetivos

El objetivo principal de esta revisión sistemática es conocer los beneficios del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo en la readaptación de lesiones del ligamento cruzado anterior.

El segundo objetivo es comprender cuales son las dosis óptimas de intensidad y oclusión vascular en el contexto del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo para la readaptación del ligamento cruzado anterior.

3. Metodología

3.1. Diseño

Se ha realizado una revisión sistemática de artículos científicos en las bases de datos (MEDLINE, CINAHL, SPORTDiscus) de la biblioteca Crai Dulce Chacón de la UEM sobre los beneficios del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo en la readaptación de lesiones del ligamento cruzado anterior.

3.2. Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda de artículos originales se consultaron las bases de datos MEDLINE Complete, CINAHL y SPORTDiscus, de manera principal mediante la siguiente ecuación, en búsqueda avanzada, “(blood flow restriction training) AND (anterior cruciate ligament) AND (quadriceps)”. Además, hicimos dos búsquedas complementarias, una en Pubmed basándonos en el título del artículo y otra desde la revisión bibliográfica de uno de nuestros artículos de la discusión. Nos salieron 53 resultados más los 3 artículos encontrados en las búsquedas complementarias. Se descartaron 16 artículos por no ser artículos experimentales, se limitó a texto completo y se descartaron 25 artículos, se escogieron solo publicaciones de los últimos 10 años, es decir, entre 2013 y 2023, finalmente, se eligieron publicaciones académicas y a que fueran exclusivamente en inglés, descartando así 3 artículos. Una vez terminada la búsqueda y leyendo los artículos, se descartan 4 por no utilizar el entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo (ver figura 1).

3.3. Criterios de selección

Como criterios de selección, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Artículos científicos experimentales.
- Artículos científicos originales a texto completo.
- Artículos publicados en los últimos 10 años (2013-2023).
- Publicaciones académicas.
- Artículos publicados en inglés.
- Artículos en los que el entrenamiento principal que se utilice sea la restricción de flujo sanguíneo.
- Artículos en los que el objeto de estudio presentara lesiones en el LCA.

- Artículos en los que los efectos o beneficios de la restricción de flujo actúe sobre la musculatura del cuádriceps.

3.4. Diagrama de flujo

Figura 1

Diagrama de flujo



4. Discusión

En este apartado se desarrolla la discusión sobre la revisión bibliográfica realizada. Para una mayor comprensión se organiza este apartado en distintos subapartados relacionados con los objetivos planteados en esta revisión. El primer subapartado está relacionado con los beneficios del entrenamiento de RFS en lesiones de ligamento cruzado anterior. El segundo subapartado, se centra en determinar las dosis adecuadas en cuanto a la intensidad del entrenamiento y el nivel de oclusión vascular que resultan eficaces en la readaptación de esta condición médica específica.

Beneficios del entrenamiento con RFS

En esta revisión se han analizado los beneficios sobre: la fuerza y la hipertrofia de la musculatura del cuádriceps, el ROM de la rodilla y el dolor de la articulación de la rodilla que tiene el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

Fuerza e hipertrofia muscular

En el artículo de Cohen et al. (2022), tras la comparación del entrenamiento de los grupos, medidos por un pres de pierna y extensión de cuádriceps, se observó una diferencia en los cuádriceps con un aumento de la fuerza muscular, estadísticamente más rápida en el grupo que empleo la restricción de flujo sanguíneo a las 12 semanas en las piernas lesionadas en comparación con el grupo control, que su entrenamiento fue sin restricción de flujo. Así, los ejercicios de resistencia con oclusión conducen a un aumento de la fuerza y el crecimiento muscular al reducir el suministro de oxígeno al músculo, induciendo hipoxia muscular, liberando algunos factores de crecimiento.

Por otro lado, Curran et al. (2020) y Hughes et al. (2019) no mostraron resultados significativos en la mejora de la fuerza del cuádriceps con entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo, medido con un pres de pierna, entre el grupo que realizó entrenamiento con restricción de flujo y el grupo control sin restricción de

flujo a las 8 semanas de entrenamiento a partir de 10 semanas después de la operación.

Grapar et al. (2016) encontraron que el grupo de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo demostró ventajas potenciales en la resistencia del músculo cuádriceps, medida por el tiempo de contracción sostenida del cuádriceps a 60° de flexión, medida por el flujo sanguíneo al vasto lateral mediante espectroscopia de infrarrojo cercano. Sin embargo, la diferencia en la resistencia muscular no estuvo presente a las 12 semanas de seguimiento y no hubo diferencias significativas en la generación de torque entre los grupos. También se vio que tampoco hubo diferencias en la masa del músculo cuádriceps femoral, la fuerza isométrica después de 5 sesiones de entrenamiento en los 10 días previos a la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Basándose en la comparación entre el grupo de entrenamiento con restricción de flujo y el grupo de entrenamiento estándar, medidos mediante la extensión de rodilla, el déficit en el volumen del cuádriceps aumento un 20% con el entrenamiento con restricción de flujo y un 23% con el entrenamiento estándar a las 4 semanas y persistió en 16% y 20% respectivamente a las 12 semanas. En cuanto a la fuerza del cuádriceps, el déficit persistió un 15% en el grupo de entrenamiento con restricción de flujo y un 22% en el grupo de entrenamiento estándar a las 12 semanas después de la operación. Por lo que no se encontraron diferencias significativas en la hipertrofia y fuerza del cuádriceps entre los grupos de entrenamiento con y sin restricción de flujo.

Hughes et al. (2019) observaron que, comparando el grupo de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo con entrenamiento convencional sin restricción de flujo, mediante un pres de pierna, la fuerza de 10RM aumentó significativamente en la extremidad lesionada ($104 \pm 30\%$ y $106 \pm 43\%$) y en la extremidad no lesionada ($33 \pm 13\%$ y $39 \pm 17\%$) con entrenamiento de restricción de flujo y entrenamiento convencional, respectivamente, sin diferencias entre los grupos a las 8 semanas. También se observaron aumentos significativos en la fuerza extensión de la musculatura del cuádriceps sin diferencias entre los grupos.

Además de aumentos significativos y comparables en el grosor muscular ($5,8 \pm 0,2\%$ y $6,7 \pm 0,3\%$) con entrenamiento con restricción de flujo y entrenamiento convencional, respectivamente, sin diferencias entre los grupos a las 8 semanas. Por lo que tras 8 semanas de entrenamiento con y sin restricción de flujo la fuerza e hipertrofia aumentaron ambas respectivamente, viendo de esta manera que son igual de eficaces.

Iversen et al. (2016) observaron que tanto el grupo de entrenamiento con restricción de flujo como el grupo de entrenamiento convencional, medidos mediante una resonancia magnética tuvieron una reducción significativa del grosor del cuádriceps de 2 días antes de la cirugía y 16 días después de la cirugía. Durante el período de intervención, el grupo de oclusión perdió un $13,8\% \pm 1,1\%$ de grosor del cuádriceps y el grupo control perdió un $13,1\% \pm 1,0\%$ respectivamente. Por lo que se vio, no hubo diferencias significativas entre los grupos de oclusión y control con respecto a la hipertrofia de los músculos cuádriceps.

Kilgas et al. (2019) compararon los grupos de entrenamiento con y sin restricción de flujo en pacientes sanos y con lesiones de ligamento cruzado anterior. Observando que el grosor del recto femoral y del vasto lateral y la fuerza extensora de la rodilla en la pierna afectada aumentaron en un $11 \pm 5\%$, $10 \pm 6\%$ y $20 \pm 14\%$, respectivamente tras 4 semanas. Además, la simetría del grosor del recto femoral después del entrenamiento en el grupo con lesión en el ligamento cruzado anterior aumentó en comparación con el valor inicial (87 ± 5 a $96 \pm 4\%$), y no difirió de la del grupo de control no lesionado ($99 \pm 5\%$). Por lo que el grosor del recto femoral y del vasto lateral de la pierna implicada aumentó un 11 y un 10%, respectivamente. El aumento del grosor del cuádriceps es significativo porque la fuerza extensora de la rodilla está más asociada con el tamaño del cuádriceps. Estos resultados se extienden tras la aplicación postoperatoria temprana del entrenamiento con restricción de flujo para la recuperación de la lesión de ligamento cruzado anterior y demuestran que el entrenamiento con

restricción de flujo puede mejorar la función del cuádriceps mucho después de la lesión de ligamento cruzado anterior.

En el artículo de Li et al. (2023) el estrés metabólico causado por la oclusión vascular durante el entrenamiento con restricción de flujo y la tensión mecánica causada por el entrenamiento o ejercicio de resistencia condujeron a aumentos sinérgicos en la hipertrofia y la fuerza muscular. En un programa de entrenamiento de resistencia periódico, el entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo aumenta la hipertrofia muscular siendo la tensión mecánica, el estrés metabólico y el daño muscular las principales causas del agrandamiento muscular. Comparando los grupos con y sin restricción de flujo sanguíneo, se vio un aumento en la fuerza muscular y el grosor en el cuádriceps en los grupos que realizaron entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, después de 8 semanas, mientras que el grupo que entreno sin restricción de flujo no mostró mejoría ni en la fuerza, medido mediante la extensión de rodilla ni en el grosor a las 8 semanas. Se vieron diferencias significativas en la fuerza entre el grupo sin restricción de flujo y los grupos que sí que lo utilizaron, ($94,05 \pm 17,62$ N·m/kg) y el grupo 1 con restricción de flujo ($123,94 \pm 28,13$ N·m/kg) y el grupo 2 con restricción de flujo ($152,04 \pm 25,45$ N·m/kg). Los participantes en el grupo de control experimentaron cierta mejoría en la fuerza muscular extensora máxima después de 8 semanas de intervención de entrenamiento, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa. El grupo experimental mostró mejoras significativas en las circunferencias recto femoral e intermedia después de 8 semanas de intervención.

Finalmente, Tramer et al. (2022) confirman que la integración de entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo durante 2 semanas en los protocolos de readaptación ha demostrado resultados variables en comparación con los controles simulados, incluida una mejor resistencia isométrica, en la extensión de pierna y amplitud de la superficie del vasto medial en el seguimiento de 12 semanas, pero no hubo cambios significativos en el volumen del cuádriceps posoperatorio. Por lo que no se observaron diferencias significativas entre el

grupo de entrenamiento con restricción de flujo y los grupos control en la fuerza ni la circunferencia del cuádriceps. Después de completar un protocolo de entrenamiento domiciliario de 2 semanas, todos los pacientes demostraron una disminución de la pérdida de fuerza en la pierna operada en comparación con la pierna no operada, sin embargo, no hubo diferencias significativas en la fuerza o medidas de resultado entre el grupo con entrenamiento con restricción de flujo y los grupos control.

Dolor y ROM

En el artículo de Cohen et al. (2022) observaron, basándose en el cuestionario de dolor KOOS (Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score), y llevando a cabo el entrenamiento con restricción de flujo, que después de 4 semanas hubo una disminución de los síntomas. Así como en el estudio Hughes et al. (2019) observaron aumentos significativamente mayores y clínicamente importantes en varias medidas como el ROM (range of motion) (78 ± 22 % vs. 48 ± 13 %) y reducciones en el dolor articular de la rodilla (67 ± 15 % vs. 39 ± 12 %) con entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo a lo largo de 8 semanas, mostrando que sí que se producían cambios significativos en la percepción del dolor de la rodilla.

Por otro lado, Grapar et al. (2016) no vieron resultados significativos entre el entrenamiento con restricción de flujo y el entrenamiento convencional, basándose en la puntuación de la escala LYSHOLM del dolor (20 puntos con restricción de flujo y 18 con ejercicio convencional).

Cohen et al. (2020) vieron que, en la fase postoperatoria del entrenamiento, hay una carga progresiva sobre la extremidad operada. Así, las ventajas del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo frente al entrenamiento de resistencia sin oclusión residen en el hecho de que inicialmente puede permitir

una mayor reducción del dolor, con la consiguiente mejora en mayor grado en comparación con el entrenamiento de resistencia sin oclusión.

En resumen, Hughes et al. (2019) vieron que el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo permite mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético en un grado similar al entrenamiento de fuerza sin oclusión, pero con una mayor reducción del dolor de la articulación de la rodilla.

En esta parte de la discusión nos encontraremos con la evidencia marcada en el segundo objetivo. Esta trata de las dosis óptimas de intensidad de entrenamiento y oclusión vascular en el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo para lesiones de LCA.

Intensidad de entrenamiento

Según Li et al. (2023), en condiciones de restricción de flujo sanguíneo, las fibras musculares blancas tipo II se pueden activar en un entrenamiento de resistencia con cargas más bajas y se puede mejorar la fuerza máxima del músculo cuádriceps. En el artículo de Cohen et al. (2022) utilizando el 30% de 1RM con restricción de flujo sanguíneo o el 70% de la repetición máxima sin oclusión, el grupo que utilizó restricción de flujo sanguíneo mostró una ganancia estadísticamente más rápida en la mejora de la fuerza muscular de cuádriceps. Es por eso que Cohen et al. (2020) afirman la mejora notable de la fuerza de extensión de cuádriceps, trabajando entre el 20% y el 50% RM a las 8 y a la 12 semanas del tratamiento.

En cambio Curran et al. (2020) vieron que un press de pierna realizado con restricción de flujo a una intensidad del 70% RM durante 4 series de 10 repeticiones 2 veces por semana durante 8 semanas a partir de las 10 semanas postoperatorias, no mejoró significativamente ningún factor respecto al grupo de entrenamiento sin restricción de flujo. Además Grapar et al. (2016) observaron diferencias significativas en cuanto a la intensidad de entrenamiento, viendo que

los componentes del grupo que realizaban un ejercicio isquémico de extensión de rodilla de baja carga, obtuvieron una mejora significativa en la fuerza e hipertrofia en comparación con el grupo que realizaba entrenamiento sin restricción de flujo.

También Hughes et al. (2019) vieron que el dolor de rodilla fue menor en el grupo que realizó entrenamiento de fuerza de baja intensidad (al 30% 1RM) con restricción de flujo sanguíneo en comparación con el entrenamiento de fuerza sin restricción de flujo sanguíneo. Así mismo, Grapar et al. (2016), Hughes et al. (2019) y Li et al. (2023) vieron que el entrenamiento de restricción de flujo sanguíneo, combinado con un entrenamiento de cuádriceps de baja carga, reduce el dolor en la articulación de la rodilla.

Grado de oclusión vascular

En el artículo de Cohen et al. (2022) vieron una mejora de la fuerza e hipertrofia ofreciendo una oclusión del 80% durante el entrenamiento individual.

Kilgas et al. (2019) vieron que el grupo de entrenamiento con restricción de flujo y con lesión en ligamento cruzado anterior, con una restricción de flujo sanguíneo en la pierna afectada del 50%, mostró diferencias significativas en cuanto a la fuerza, y el grosor del cuádriceps, en comparación con el grupo que trabajó sin restricción de flujo, durante 4 semanas.

Según Li et al. (2023), el grupo de compresión del 80% mostró una mayor mejora en el cuádriceps femoral, en comparación con el grupo control con nada de restricción de flujo y el grupo de 40% de compresión. Los indicadores de resultado en el grupo 40% de oclusión y 80% mejoraron después de 8 semanas de intervención experimental de entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo.

Iversen et al. (2016) afirman que los manguitos de oclusión ancha restringen el flujo sanguíneo arterial a una presión más baja que los manguitos estrechos. Sin embargo, es posible que el mismo manguito no restrinja la misma cantidad de flujo sanguíneo en todas las personas. Se ha demostrado que la circunferencia del muslo es el mayor determinante de la presión de oclusión arterial.

Según Li et al. (2023) un mayor nivel de restricción del flujo sanguíneo reduce el reflujo venoso, al tiempo que aumenta la presión metabólica del cuerpo, lo que resulta en una compresión más rápida de las extremidades inferiores y, por lo tanto, se alcanzan niveles de fatiga más rápidamente; aumento de la proliferación de células satélite, acompañado de la síntesis de proteínas musculares, y un aumento del tamaño de las fibras musculares y de la fuerza muscular.

Por otro lado Curran et al. (2020) y Hughes et al. (2019) vieron que no hubo diferencias significativas entre, los pacientes del grupo de entrenamiento con restricción de flujo con un manguito aplicado al muslo, ajustado a una presión de oclusión de la extremidad del 80% y el grupo de entrenamiento convencional sin restricción de flujo durante 8 semanas y 10 semanas después de la intervención quirúrgica.

Tampoco Iversen et al. (2016) vieron diferencias significativas en cuanto al músculo del cuádriceps entre el grupo que hizo entrenamiento con restricción de flujo con una oclusión de 130 MMHG, que se aumentaba 10% cada 2 días hasta 180 MMHG y el grupo que realizó un entrenamiento convencional sin restricción de flujo sanguíneo. Ambos grupos tuvieron una reducción significativa del grosor del cuádriceps de 2 días antes de la cirugía a 16 días después de la cirugía. Durante el período de intervención, el grupo de oclusión perdió un 13,8% ± un 1,1% de grosor y el grupo control perdió un 13,1% ± un 1,0% de cuádriceps, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre los grupos de restricción de flujo y control sin restricción de flujo con respecto al cuádriceps.

Finalmente, Tramer et al. (2022) no vieron diferencias significativas entre el grupo que hizo entrenamiento con restricción de flujo al 80% de oclusión y el grupo que realizó un entrenamiento sin restricción de flujo en cuanto a la circunferencia del cuádriceps y la fuerza durante 2 semanas.

5. Futuras líneas de investigación

En futuras investigaciones, es necesario abordar limitaciones sustanciales, como periodos de seguimiento reducido, la ausencia de protocolos y medidas de resultados estandarizados. Estas limitaciones han generado una falta de consenso en cuanto a las recomendaciones de uso, al plantearse inquietudes teóricas acerca de posibles complicaciones, tales como daño muscular, cambios en la presión arterial y la formación de coágulos sanguíneos asociados al uso de RFS.

Es necesario llevar a cabo investigaciones futuras para determinar si se requieren más sesiones o si la RFS con mayor intensidad podría marcar una diferencia en comparación con los protocolos convencionales de fisioterapia. Además, se sugiere dirigir la atención hacia protocolos de pre-acondicionamiento isquémico prolongados, ya sea de forma aislada o en combinación con la aplicación temprana de ejercicio isquémico postoperatorio.

Es esencial que los estudios posteriores realicen evaluaciones detalladas de la masa y la fuerza del músculo cuádriceps, así como examinar exhaustivamente la capacidad de resistencia. Por otro lado, pocos estudios han abordado la seguridad y viabilidad de la implementación de un programa RFS en el hogar.

En resumen, es necesario llevar a cabo investigaciones con una metodología de mayor calidad, centrándose principalmente en incrementar el tamaño de la muestra y proponer mediciones de resultados lo más objetivas posible.

6. Conclusiones

Tras examinar estos artículos y en relación con el objetivo principal se concluye que el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo, cuando es supervisado, es beneficioso para incrementar la masa y la fuerza muscular en los extensores de rodilla en pacientes con lesión del ligamento cruzado anterior (LCA).

Además, la incorporación de la restricción del flujo sanguíneo en el programa de entrenamiento se muestra como una estrategia efectiva para acelerar el proceso de readaptación. Esto posibilita la transición anticipada a la siguiente etapa de recuperación, con una notable reducción del dolor, lo que a su vez contribuye a mejoras significativas en la función física global de los pacientes.

En relación con el objetivo secundario, se puede concluir que el entrenamiento que incorpora restricción del flujo sanguíneo, utilizando una intensidad de carga baja en el rango de 20-50% de 1RM, ofrece beneficios tanto fisiológicos como funcionales. Este enfoque resulta especialmente beneficioso para pacientes a los que no se les recomienda realizar entrenamientos con cargas elevadas.

Por último, aplicar entre el 50 y 80% de oclusión vascular en el extremo proximal de la extremidad inferior proporciona mejores beneficios fisiológicos y funcionales, restringiendo la vena femoral y permitiendo el transporte de oxígeno y nutrientes al músculo mediante la arteria femoral.

7. Referencias bibliográficas

- Charles, D., White, R. A., Reyes, C., & Palmer, D. (2020). A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction. *The International journal of sports physical therapy*, 15(6), 882-891. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200882>
- Cohen, M., Komatsu, W. R., De Freitas, M. S., De Melo, M. E. V., & De Melo, R. F. V. (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(2), 2-9. <https://doi.org/10.2340/jrm.v54.2550>
- Colapietro, M., Portnoff, B., Miller, S., Sebastianelli, W. J., & Vairo, G. L. (2022). Effects of blood flow Restriction training on clinical Outcomes for Patients with ACL reconstruction: A Systematic review. *Sports Health*, 15(2), 260-273. <https://doi.org/10.1177/19417381211070834>
- Curran, M., Bedi, A., Mendias, C. L., Wojtys, E. M., Kujawa, M., & Palmieri-Smith, R. M. (2020). Blood flow restriction training applied with High-Intensity Exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 48(4), 825-837. <https://doi.org/10.1177/0363546520904008>
- Erickson, L. N., Lucas, K., Davis, K., Jacobs, C. A., Thompson, K., Hardy, P., Andersen, A. H., Fry, C. S., & Noehren, B. (2019). 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. *Physical Therapy*, 99(8), 1010-1019. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz062>
- Grapar ,T., Drobnič, M., Jkoder, J., Stražar, K., & Kacin, A. (2016). The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle

atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *PubMed*, 52(3), 310-320.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26799572>

Hughes, L., Rosenblatt, B., Haddad, F. S., Gissane, C., McCarthy, D. S., 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*, 49(11), 1787-1805.
<https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>

Hylden, C. M., Burns, T. C., Stinner, D. J., & Owens, J. G. (2015). Blood Flow Restriction Rehabilitation for Extremity Weakness: A case series. *Journal of special operations medicine: a peer reviewed journal for SOF medical professionals*, 15(1), 50. <https://doi.org/10.55460/dqof-lty6>

Iversen, E., Røstad, V., & Larmo, A. (2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 115-118.
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>

Kilgas, M. A., Lytle, L., 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>.

Koc, B. B., Truyens, A., Heymans, M. J. L. F., Jansen, E., & Schotanus, M. G. (2022). Effect of Low-Load Blood Flow Restriction training after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic review. *The International journal of sports physical therapy*, 17(3), 334-346.
<https://doi.org/10.26603/001c.33151>

Li, X., Li, J., Liang, Q. Q., 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), 2-14. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06483-x>

Petersen, W., & Tillmann, B. (2002). Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. *Orthopade*, 31(8), 710-718. <https://doi.org/10.1007/s00132-002-0330-0>

Sánchez-Alepuz, E., Miranda, I., & Miranda, F. J. N. (2020). Evaluación funcional de los pacientes con rotura del ligamento cruzado anterior. estudio analítico transversal. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 64(2), 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2019.10.004>

Tramer, J. S., Khalil, L. S., Jildeh, T. R., Abbas, M. J., McGee, A., Lau, M. J., Moutzouros, V., & Okoroha, K. R. (2023). Blood flow restriction therapy for 2 weeks prior to anterior cruciate ligament reconstruction did not impact quadriceps strength compared to standard therapy. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 39(2), 373-381. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2022.06.027>

8. Anexos

8.1. Cuadro resumen de autores

Tabla 1

Cuadro resumen de artículos seleccionados

Autores y año	Objetivo/s del artículo	Muestra	Metodología	Variables	Resultados / Conclusiones
Cohen et al. (2022)	Comparar la ganancia de fuerza muscular en los cuádriceps y los músculos isquiotibiales en pacientes después de una cirugía de reconstrucción del ligamento	Total de 28 participantes postoperados de reconstrucción de LCA de entre 18 y 59 años.	El grupo de intervención utilizó manómetros de 10 x 80 cm de ancho y una bolsa neumática de 7 x 52 cm (Cuff Scientific Leg® – WCS, Curitiba, Paraná, Brasil) en la región cercana al ligamento inguinal de la pierna derecha e izquierda. El grupo	La fuerza muscular usando un dinamómetro isométrico, la fuerza isométrica máxima de los extensores y flexores de la rodilla en ambas piernas y la función física de la rodilla usando los cuestionarios	-Se observó un aumento de la fuerza muscular en cuádriceps e isquiotibiales del grupo de intervención en comparación con el grupo control entre las 8 y 12 semanas. - Hubo una disminución de los síntomas y un aumento de la calidad de

Pablo Romeo y Alejandro Salgado

	<p>cruzado anterior, utilizando ejercicios con y sin restricción del flujo sanguíneo.</p>		<p>control realizó los mismos ejercicios propuestos sin ningún material de oclusión.</p> <p>El volumen de ejercicio (kg) se calculó como: número de repeticiones x carga (kg). Para cada ejercicio seleccionado, se utilizó el 30% de una repetición máxima (RM) en el grupo de intervención y el 70% de 1RM en el grupo de control. Los ejercicios realizados fueron prensa de piernas y silla flexora.</p>	<p>Lysholm, International Knee Documentation Committee (IKDC) y Knee lesion and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS).</p>	<p>vida en el grupo de intervención en comparación con el grupo control entre las 4 y las 12 semanas.</p>
Curran et al.	Examinar la	Un total de 34	Pacientes fueron	Se evaluaron el	No se encontraron

(2020)	<p>eficacia de RFS con ejercicio de alta intensidad en la recuperación de la función del músculo cuádriceps en pacientes sometidos a reconstrucción del LCA.</p>	<p>pacientes (19 mujeres y 15 hombres).</p>	<p>asignados aleatoriamente a 4 grupos, los cuales realizaron un ejercicio de prensa de piernas isocinética y unipodal al 70%. Los grupos se asignaron en función de la forma de contracción realizada; concéntrica, excéntrica, concéntrica con RFS y excéntrica con RFS. Se realizó el ejercicio durante 4 series de 10 repeticiones, 2 veces por semana durante 8 semanas.</p>	<p>torque máximo e isométrico (60 grados/s) del cuádriceps, la activación del músculo cuádriceps y el volumen del músculo recto femoral antes de la reconstrucción del LCA, después de la RFS y en el momento en que los pacientes regresaron a la actividad.</p>	<p>diferencias significativas entre los grupos para ninguna medida de resultado en ningún momento. Una RFS de 8 semanas más una intervención de ejercicio de alta intensidad no mejoró significativamente la fuerza, la activación o el volumen del músculo cuádriceps. Según nuestros hallazgos, es posible que no esté justificado el uso de RFS junto con ejercicios de resistencia de alta intensidad en pacientes sometidos a</p>
--------	--	---	---	---	--

					reconstrucción del LCA para mejorar la función del cuádriceps.
Grapar et al. (2016)	El estudio evaluó si el preacondicionamiento muscular con ejercicio isquémico puede atenuar la pérdida de volumen, fuerza y función del QF después de la reconstrucción del LCA.	20 sujetos sometidos a reconstrucción del LCA.	Los pacientes realizaron 5 sesiones de ejercicio durante los últimos 10 días antes de la cirugía. Fueron asignados a dos grupos que realizaron ejercicios de extensión de rodilla isquémica de baja carga (grupo ISHEMIC) o ejercicios de extensión de rodilla estándar (grupo SHAM).	El volumen QF, el torque de contracción isométrica voluntaria máxima y la distancia de alcance anterior con una sola pierna se evaluaron antes del preacondicionamiento y a las 4 y 12 semanas después de la cirugía.	El preacondicionamiento a corto plazo con ejercicio isquémico de baja carga no mostró diferencias significativas entre los grupos en ninguna de las variables antes o después de la cirugía.
Hughes et al. (2019)	Comparar la efectividad de BFR-RT y el	Se reclutó a 28 pacientes programados	Los participantes fueron asignados al azar en los bloques; HL-RT al 70%	Se evaluaron la fuerza isotónica máxima escalada	BFR-RT puede mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético

	entrenamiento de resistencia tradicional con cargas pesadas (HL-RT) de atención estándar para mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético, la función física, el dolor y el derrame en pacientes con ACLR después de la cirugía.	para cirugía ACLR unilateral con autoinjerto de tendón de la corva. Se perdieron cuatro participantes y 24 participantes completaron el estudio (12 por grupo).	de 1RM y BFR-RT al 30% DE 1RM. Los participantes completaron 8 semanas de entrenamiento quincenal de prensa de piernas unilateral en ambas extremidades, con un total de 16 sesiones, junto con rehabilitación estándar.	(10RM), la morfología muscular del vasto lateral de la extremidad lesionada, la función autoinformada, el rendimiento de la prueba de equilibrio en Y y el dolor en la articulación de la rodilla, el derrame y el rango de movimiento (ROM) antes y después de la cirugía.	en un grado similar a HL-RT con una mayor reducción del dolor y derrame en las articulaciones de la rodilla, lo que lleva a mayores mejoras generales en la función física. Por lo tanto, BFR-RT puede ser más apropiada para la rehabilitación temprana en poblaciones de pacientes de ACLR dentro del Servicio Nacional de Salud.
Iversen et al. (2016)	Investigar el efecto de un estímulo de	Un total de 24 sujetos participaron en	Fueron asignados al azar en dos grupos. A partir del segundo día	Edad, altura, peso, tiempo de la lesión a la operación y	No hubo diferencias significativas entre los grupos de oclusión y

	<p>oclusión sobre la atrofia del cuádriceps después de la reconstrucción del LCA.</p>	<p>el estudio.</p>	<p>después de la cirugía, el grupo de oclusión recibió un estímulo de oclusión durante 5 minutos, seguido de la eliminación de la presión oclusiva durante 3 minutos. Esto se repitió cinco veces en una sesión de entrenamiento, dos veces al día. Durante el período de estímulo oclusivo, los sujetos realizaron 20 ejercicios de baja carga para el cuádriceps. El grupo control siguió el mismo protocolo de ejercicio, pero sin el estímulo de</p>	<p>resultado IKDC (International Knee Documentation Committee).</p>	<p>control con respecto a la atrofia de los músculos cuádriceps los primero 14 días después de la reconstrucción del LCA.</p>
--	---	--------------------	--	---	---

			oclusión. Los cambios en el área de la sección transversal anatómica del cuádriceps (ACSA) se midieron mediante imágenes de resonancia magnética (RM) axial en el 40% y el 50% de la longitud del fémur.		
Kilgas et al. (2019)	Evaluar la efectividad de un programa de ejercicios de restricción del flujo sanguíneo en el hogar para aumentar el tamaño y la fuerza del cuádriceps	varios adultos con reconstrucción del LCA (5 ± 2 años después de la cirugía, ≤90% de simetría en el tamaño y la fuerza del cuádriceps) y	Los participantes de ACLR hicieron ejercicio en casa durante 25 minutos, 5 veces por semana durante 4 semanas (extensión de rodilla con una sola pierna, media sentadilla con el peso corporal, caminata). El flujo sanguíneo sólo en la	Se midieron el grosor del recto femoral y del vasto lateral y la fuerza del extensor de la rodilla antes y después del entrenamiento.	La implementación del ejercicio con RFS en casa fue factible, segura y efectiva. Los resultados se extienden a la aplicación postoperatoria temprana del ejercicio RFS para la recuperación de la reconstrucción del LCA y demuestran que RFS

	años después de la reconstrucción del LCA.	nueve controles ilesos se ofrecieron como voluntarios	pierna afectada se restringió utilizando un manguito de muslo inflado al 50% de la presión de oclusión de la extremidad.		puede mejorar la función del cuádriceps mucho después de la reconstrucción del LCA.
Li et al. (2023)	Evaluar los efectos del entrenamiento de cuádriceps con diferentes niveles de restricción del flujo sanguíneo sobre la fuerza y el grosor de los cuádriceps de los participantes después de ACLR.	30 pacientes de reconstrucción post-LCA divididos en 3 grupos de 10 participantes cada uno.	Los pacientes se dividieron aleatoriamente en tres grupos (control, 40 % de presión de oclusión arterial [AOP] y 80 % de AOP). Todos fueron sometidos a diferentes niveles de RFS, combinados con rehabilitación convencional del cuádriceps en 16 sesiones de 1 hora,	La fuerza isocinética máxima de extensión de rodilla a 60°/s y 180°/s, la suma del grosor del recto femoral y vasto intermedio afectados, el rendimiento de la prueba de equilibrio Y y las respuestas al cuestionario del International Knee Documentation	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°/s y 180°/s de velocidad angular, así como la suma del espesor del recto femoral y el vasto intermedio.

			durante 8 semanas. Se pidió a los participantes que completaran 4 series de 30 repeticiones en la primera serie y 15 repeticiones en las series restantes con un descanso de 30 segundos entre series.	Committee (IKDC).	La combinación de RFS y entrenamiento del cuádriceps femoral de baja intensidad puede mejorar eficazmente la fuerza muscular y el grosor de los extensores de la rodilla en participantes con ACLR y ayudar a reducir la diferencia entre los lados sanos y quirúrgicos de la articulación de la rodilla mientras mejora la función de la articulación de la rodilla.
Tramer et al. (2022)	Evaluar la eficacia de un programa de pre rehabilitación	Un total de 45 pacientes cumplieron los criterios de	Los pacientes que presentaban una rotura del LCA fueron asignados	La circunferencia del cuádriceps, la generación máxima de fuerza del	Todos los pacientes demostraron una menor pérdida de fuerza en la pierna operada en

	<p>domiciliaria de restricción del flujo sanguíneo de 2 semanas sobre la fuerza del cuádriceps y los resultados informados por el paciente antes de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA).</p>	<p>inclusión y eligieron participar.</p>	<p>aleatoriamente a dos grupos, RFS y control. Al grupo RFS se le indicó que realizara los ejercicios con un manguito neumático ajustado al 80% de la presión de oclusión de la extremidad colocado sobre la parte proximal del muslo. Los ejercicios estandarizados se realizarían 5 días a la semana durante 2 semanas entre la visita clínica inicial y la fecha de la cirugía.</p>	<p>cuádriceps, el tiempo hasta la fuerza máxima, la fuerza promedio, el dolor y las escalas PROMIS.</p>	<p>comparación con la pierna no operada</p> <p>No hubo diferencias significativas en ninguna fuerza o medida de resultado. entre los grupos RFS y control.</p> <p>Se encontró que el protocolo de prehabilitación domiciliaria RFS era factible, accesible y bien tolerado por los pacientes.</p>
--	---	--	--	---	---