

TRABAJO FIN DE MÁSTER



Máster Universitario en Fisioterapia Deportiva

Escuela Universitaria Real Madrid – Universidad Europea

EFFECTOS DE LA RESTRICCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO SOBRE EL VOLUMEN MUSCULAR TRAS ROTURAS DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN PERSONAS FÍSICAMENTE ACTIVAS. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

Autor:

D/. Manuel Saiz Eguren

Nº expediente: 22381220

Director:

Dr. Francisco Volpe

Villaviciosa de Odón, 1 de junio de 2024



**Escuela Universitaria
Real Madrid**
UNIVERSIDAD EUROPEA

AUTORIZACIÓN PRESENTACIÓN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

DATOS DE LOS ALUMNOS	
Apellidos: Saiz Eguren	Nombre: Manuel
Máster Universitario en Fisioterapia deportiva	
Título del trabajo: “Efectos de la restricción del flujo sanguíneo sobre el volumen muscular tras reconstrucción de ligamento cruzado anterior. Una revisión sistemática.”	

El Dr. Francisco Volpe como Tutor del trabajo reseñado arriba, certifico que el trabajo cumple con las normas establecidas en la asignatura Metodología de la Investigación, concuerda con el contenido que ha sido tutelado durante el curso e incluye los resultados de la fase experimental con su correspondiente discusión acorde al método científico.

Con esto apruebo su presentación y defensa ante el Tribunal.

En Villaviciosa de Odón, a ___ de junio de 2024

Fdo.: Francisco Volpe

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
METODOLOGÍA.....	9
RESULTADOS	12
DISCUSIÓN	21
CONCLUSIONES	24
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

RESUMEN

Introducción. La atrofia muscular es una característica muy común en pacientes que han tenido que ser intervenidos quirúrgicamente del ligamento cruzado anterior. En la actualidad, cada vez son más los tratamientos que combinan la restricción de flujo sanguíneo (BFR) con el trabajo con cargas externas para intentar revertir de la manera más eficaz esta condición.

Objetivo. El objetivo de este estudio es valorar los resultados que puede tener un entrenamiento combinado con BFR en el volumen muscular del miembro inferior en personas físicamente activas con rotura de ligamento cruzado anterior, respecto a un tratamiento sin esta restricción.

Metodología. Esta revisión sistemática ha sido redactada y desarrollada siguiendo la guía PRISMA 2020 y haciendo uso de bases de datos tales como Pubmed, Web Of Science o Medline Complete. Siguiendo las bases de datos previamente mencionadas se realiza una búsqueda avanzada con la siguiente ecuación de búsqueda ("blood flow restriction" OR occlusi* OR BFR OR kaatsu) AND (ACLR OR "anterior cruciate ligament") AND (muscle OR hypertrophy) AND (sport* OR athlete* OR player* OR "physically active"). Al mismo tiempo, para evaluar la calidad de los ensayos clínicos seleccionados todos ellos pasan un control de calidad y de riesgo de sesgo a través de la escala PEDro.

Resultados. Inicialmente se encontraron 43 estudios que abordaban la materia en cuestión, tras un cribado que nos acotara y precisara más la búsqueda, el resultado final de estudios incluidos en esta revisión es de 6. Dentro de estos 6 estudios nos encontramos un total de 155 sujetos, siendo 63 mujeres y 92 hombres. La utilización de elementos para la BFR en miembro inferior se muestra efectiva a la hora de producir un aumento de la masa muscular y del área de sección transversal (CSA) con respecto a tratamientos tradicionales en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Conclusiones. Todo apunta a que la terapia de rehabilitación combinada con BFR favorece un

aumento más veloz del CSA, así como del volumen muscular de la musculatura extensora del miembro inferior. Sin embargo, no todos los estudios analizados en esta revisión sistemática coinciden, habiendo discrepancias de resultados entre ellos. Más ensayos clínicos que evalúen estas variables serían convenientes para poder llegar a una afirmación más precisa.

Palabras clave: ACLR; BFR; CSA, Volumen muscular; Rehabilitación

ABSTRACT

Introduction. Muscle atrophy is a very common feature in patients who have undergone surgery for anterior cruciate ligament (ACL) repair. Currently, there are increasing numbers of treatments that combine blood flow restriction (BFR) with external load training to attempt to reverse this condition as effectively as possible.

Objective. The aim of this study is to evaluate the results of combined BFR training on the muscle volume of the lower limb in physically active people undergoing anterior cruciate ligament rupture, compared to treatment without this restriction.

Methodology. This systematic review has been written and developed following the PRISMA 2020 guidelines, using databases such as PubMed, Web of Science, and Medline Complete. Following the databases mentioned previously, an advanced researched was made according to the next combination ("blood flowrestriction" OR occlusi* OR BFR OR kaatsu) AND (ACLR OR "anterior cruciateligament") AND (muscle OR hypertrophy) AND (sport* OR athlet* OR player* OR "physically active"). Additionally, to assess the quality of the selected clinical trials, all of them underwent a quality and risk of bias control using the PEDro scale.

Results. Initially, 43 studies addressing the subject matter were found. After a screening process that refined and narrowed down the search, the final result included 6 studies in this review. Among these 6 studies, there was a total of 155 subjects, consisting of 63 women and 92 men. The use of elements for BFR in the lower limb is shown to be effective in increasing muscle mass and cross-sectional area (CSA) compared to traditional treatments in patients with ACL reconstruction.

Conclusions. All indications suggest that rehabilitation therapy combined with BFR promotes a faster increase in CSA and muscle volume of the extensor muscles of the lower limb. However, not all studies analyzed in this systematic review agree, with discrepancies in results among them. More clinical trials evaluating these variables would be beneficial to achieve a more precise statement.

Keywords. ACLR; BFR; CSA; Muscular volume; Rehabilitation.

INTRODUCCIÓN

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más frecuentes en el mundo del deporte y con esta, la consecuente atrofia del músculo cuádriceps, siendo una de las principales características a solventar tras la operación (1), puesto que existe una relación directa entre el nivel de atrofia y el tiempo de recuperación (2). Entre los motivos de esta atrofia muscular secundaria a la operación se encuentra la indicación de un periodo de baja carga para la articulación de la rodilla (3–6).

Una de las principales indicaciones para la reconstrucción del LCA es el deseo del deportista por volver a competir al nivel previo a la lesión (7), pero esta vuelta a la competición, de acuerdo con diferentes estudios de investigación que abordan el tema, se demora entre 6 a 12 meses (8,9). Con el objetivo de reducir la atrofia muscular y acortar estos plazos de vuelta a la competición tenemos a nuestra disposición diferentes opciones, como puede ser el ejercicio, por sí solo o combinado con otros tipos de intervenciones. Los ejercicios de fortalecimiento del miembro inferior son un elemento común en los protocolos de rehabilitación de LCA (10). Dentro de estos protocolos de rehabilitación basados en ejercicio nos encontramos tanto ejercicios en cadena cinética abierta como cerrada (11) y en ocasiones pueden ir combinados con terapias de estimulación neuromuscular con el objetivo de aumentar la intensidad de contracción muscular durante el ejercicio en las primeras semanas post operación (12).

La terapia con restricción del flujo sanguíneo (BFR) es una intervención menos estudiada y descrita que las anteriores y consiste en la aplicación de una presión determinada en el punto articular proximal al músculo a trabajar (4,13). Uno de los grandes beneficios de la terapia con BFR es el de poder compaginarlo con ejercicios de baja intensidad o carga, permitiéndonos esto disminuir el dolor o estrés en las articulaciones tibio femoral y patelofemoral (13,14). A pesar de esto, nos encontramos también

con protocolos que trabajan a una alta intensidad en las primeras semanas post reconstrucción a pesar de presentar BFR (15). Ya sea con altas o bajas cargas, el objetivo de trabajar con BFR es el de poder producir una isquemia en el músculo diana que desemboque en una hipertrofia muscular secundaria al estrés metabólico y la tensión tisular de este músculo (16). El trabajo de fuerza muscular con BFR no es exclusivo de la población lesionada, cada vez hay más estudios y protocolos que intervienen con BFR en deportistas sanos para un mayor rendimiento deportivo (17,18).

Dentro de toda la investigación referente al BFR, se han abordado diferentes variables con la intención de esclarecer si este tipo de terapias tienen efecto sobre ellas como son el ROM, el dolor, el edema, la estabilidad, el volumen muscular normalmente definido através del área de sección transversal (CSA) y la fuerza muscular, entre otros.

El objetivo de los últimos estudios de investigación referentes a esta técnica es tratar de declarar si una rehabilitación que combine ejercicio con BFR consigue mejores resultados en cuanto al volumen muscular que un protocolo convencional (2,5,15,17– 20). Sin embargo, no parece existir una respuesta clara acerca de esta pregunta existiendo artículos que afirman encontrar diferencias significativas entre estos dos protocolos a favor del BFR (20) y otros que no hallan esas diferencias (15). También existen revisiones sistemáticas (4,10,21,22) y metaanálisis (23) que abordan este tema de investigación.

Por todo ello, la decisión de una nueva revisión sistemática se debe al aumento de publicaciones sobre este tema de investigación en los últimos años y a la necesidad de un consenso o estandarización en cuanto a la presión a aplicar con el BFR, la zona de aplicación, los intervalos de esta presión y el protocolo de rehabilitación paralelo a la oclusión que debemos seguir. Junto a esto, lo que busca esta revisión es confirmar si una rehabilitación con BFR tras operación por rotura de ligamento cruzado anterior es más efectiva a la hora de mejorar el CSA y el volumen muscular que una rehabilitación sin esta técnica.

METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática ha sido redactada y desarrollada siguiendo la guía PRISMA2020(1), que marca las directrices a seguir para desarrollar revisiones sistemáticas y metaanálisis.

Criterios de elegibilidad.

Los artículos seleccionados para esta revisión sistemática fueron considerados válidos para el estudio siguiendo la estructura PICOS (población, intervención, comparación, “outcome” y “study design”) (24). Los criterios de inclusión que se consideraron fueron que los participantes tuvieran entre 18 y 40 años, tanto mujeres como hombres, con vida físicamente activa antes de la intervención del LCA sin necesidad de realizar una práctica deportiva concreta, que en el momento de la rehabilitación una parte del grupo usara BFR y la otra parte del grupo realizara un tratamiento convencional cuantificado para poder comparar y que en esos estudios se presenten valores como el CSA o el volumen muscular. Además, los únicos estudios que se aceptaron fueron ensayos clínicos no aleatorizados. Por otro lado, también hemos establecido unos criterios de exclusión para así descartar estudios que nos alejen de nuestro foco de investigación. Para esto hemos descartado estudios en los que los participantes no sean humanos, que los participantes presenten algún otro tipo de patología no relacionada con la rodilla o patologías de rodilla que no sean relacionadas con el ligamento cruzado anterior, estudios en los que haya uso de BFR en ambos grupos y tipos de estudios que no sean ensayos clínicos aleatorizados.

Fuentes de información.

Las bases de datos utilizadas para la extracción de los estudios en los que se basa este proyecto de investigación han sido Pubmed, Web Of Science y Medline Complete, siendo la fecha de inicio de búsqueda el 15 de enero de 2024.

Estrategia de búsqueda.

Esta revisión sistemática ha sido redactada y desarrollada siguiendo la guía PRISMA 2020 y haciendo uso de bases de datos tales como Pubmed, Web Of Science o Medline Complete. Siguiendo las bases de datos previamente mencionadas se realiza una búsqueda avanzada con la siguiente ecuación de búsqueda ("blood flow restriction" OR occlusi* OR BFR OR kaatsu) AND (ACLR OR "anterior cruciate ligament") AND (muscle OR hypertrophy) AND (sport* OR athlet* OR player* OR "physically active"). Al realizar esta búsqueda, realizamos una segunda búsqueda en la bibliografía de los seleccionados para obtener más estudios que poder utilizar.

Selección de estudios.

Una vez obtenidos los resultados de la ecuación de búsqueda y con la ayuda del software Rayyan, se realiza un filtro para descartar aquellos resultados que no son acordes a los criterios de elegibilidad mencionados previamente. Así mismo, se eliminan resultados duplicados y una vez estos filtros se han llevado a cabo se procede a la lectura de los estudios restantes con el objetivo de determinar si son aptos o no para esta investigación.

Extracción de datos.

Con el objetivo de llevar a cabo una extracción de datos metodológica y sistemática se desarrolla una tabla de Excel donde vamos vinculando cada dato necesario de extracción a un número. Así: (1) Autor, revista donde se publicó y año, (2) tipo de estudio experimental, (3) características de la muestra (tamaño, edad y género), (4) características del grupo que usa BFR (nivel de presión y variables del entrenamiento), (5) características del grupo que no usa BFR (variables del entrenamiento) y (6) resultados, centrándonos en el área transversal.

Evaluación de la calidad y riesgo de sesgo.

La calidad metodológica y el riesgo de sesgo de esta revisión sistemática se llevaron a cabo siguiendo la escala PEDro (25) que usa 11 ítems, donde a cada uno se le otorga un valor: 0 si no se cumple lo descrito en el ítem y 1 si claramente lo hace. Estos ítems evalúan distintos aspectos de los estudios siendo así que el ítem 1 hace referencia a su validez externa, mientras que los ítems del 2-9 valoran la validez externa, siendo los 2 últimos destinados a valorar si la información estadística del estudio es útil para interpretar los resultados de este.

RESULTADOS

Selección de los estudios

La ilustración 1 muestra los estudios finalmente incluidos en esta revisión tras el cribado de estos siguiendo la guía PRISMA 2020. La búsqueda arrojó un total de 43 estudios pertenecientes a MEDLINE COMPLETE (n=28) y Pubmed (n=15). Tras eliminar manualmente artículos duplicados, el número descendió a 30. Al completar este cribado revisando títulos, abstracts, eliminando todo aquel estudio que no fuera un ensayo clínico o cuya población diana no fuera físicamente activa y aquellos donde no se valora el volumen muscular, el número final de artículos que incluimos en esta revisión sistemática es de 6, cumpliendo estos con los criterios de elegibilidad mencionados previamente.

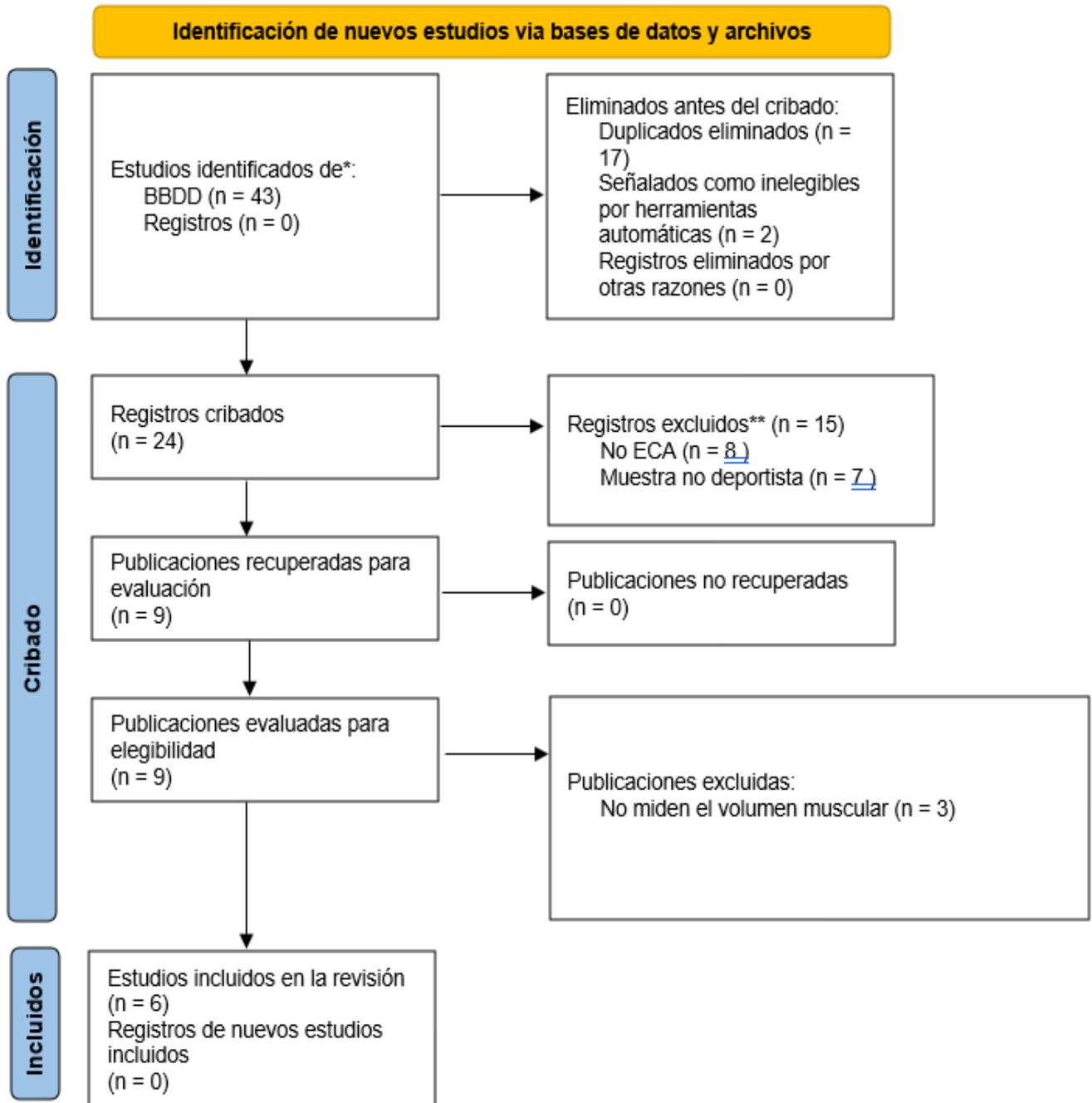


Ilustración 1 "Guía PRISMA 2020"

Características de los estudios

De los 6 estudios incluidos en esta revisión, encontramos 4 de ellos donde el protocolo de entrenamiento a realizar se basa en bajas cargas (2,5,14,26) mientras que en otro se optó por el entrenamiento de baja carga para el grupo con BFR y alta para el grupo control

(19) y en el último de los estudios se aplicó una carga proporcional a las características individuales de cada individuo de la muestra (18).

En cuanto a la valoración del volumen muscular, 4 de estos estudios se basan en el área de sección transversal (CSA), algunos de ellos la dividen en CSA de musculatura extensora y flexora (2,14), otros como CSA de cuádriceps o de isquiotibiales(26), en el caso de Iversen et al(5) realizan un sumatorio de CSA extensora y flexora; y por último Hughes et al. (19) y Li et al. (18) valoran este volumen como “muscular thickness”.

La aparatología utilizada para realizar la oclusión que produzca la restricción del flujo sanguíneo también varía en función del ensayo clínico y con ello la presión que se ejerce, Kacin et al. (28) y Ohta et al. (14) describen una presión fija y mantenida durante la realización del protocolo de rehabilitación en 150 MmHg y 180 MmHg respectivamente, por otro lado, Iversen et al. (5) y Takarada et al. (2) apuestan por un presión intermitente de 5 minutos combinada con el protocolo de rehabilitación y 3 minutos de descanso sin oclusión, con un aumento de 10 MmHg cada dos días comenzando en 130 MmHg en el primero de los casos y de 10 MmHg cada día comenzando en 180 MmHg en el segundo. En cambio, Hughes et al. (19) y Li et al. (18) optan por un sistema de oclusión automático que genera un 80% de presión en el primero de los casos y un 40% u 80% en el segundo en función del grupo de intervención.

Se ha intervenido en un total de 149 personas, 69 mujeres y 80 hombres, todos mayores de 18 años

y que han sufrido una rotura de ligamento cruzado anterior. De estos, 79 se han sometido a algún tipo de protocolo con BFR y los 70 restantes han servido como grupo control. Ninguno de estos estudios ha referido efectos secundarios tras o durante el uso de BFR.

Calidad y riesgo de sesgo de los estudios individuales

Para evaluar la calidad y el riesgo de sesgo de los estudios seleccionados se llevó a cabo su valoración en la escala PEDro(25). Solamente uno de los estudios mostró menos de una calidad moderada (5/10) (18) mientras que la valoración total de los 5 restantes fue alta. Estos resultados se recogen en la Tabla 1.

AUTOR (AÑO)	CRITERIOS DE ELECCION ESPECIFICADOS	ASIGNACION DE GRUPOS AL AZAR	ASIGNACION OCULTA	GRUPOS HOMOGENEOS	MUESTRA CEGADA	TERAPEUTA CEGADO	EVALUADOR CEGADO	<15% BAJAS	INTENCION DE TRATAR	COMPARACION ESTADISTICA	MEDIDAS DE VARIABILIDAD Y PUNTUALES	TOTAL	CALIDAD
KAZIN ET AL (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	No	No	No	No	SI	SI	7	Alto
HUGHES ET AL (2019)	SI	SI	SI	SI	No	No	SI	SI	No	SI	SI	8	Alto
LIET AL (2023)	SI	SI	SI	No	No	No	No	No	No	SI	SI	5	Moderado
IVERSEN ET AL (2014)	SI	SI	SI	SI	No	No	SI	SI	No	SI	SI	8	Alto
TAKARADA ET AL (2000)	No	SI	SI	SI	SI	No	SI	SI	No	SI	SI	8	Alto
OHTA ET AL (2023)	SI	SI	SI	SI	No	No	No	SI	No	SI	SI	7	Alto

Tabla 1 "Valoración según escala PEDro"

Resultados de los estudios individuales

Los resultados de los estudios de manera individual quedan registrados en la Tabla 2.

Cabe destacar que, entre los 6 estudios incluidos en esta revisión, se valora el efecto del BFR sobre la fuerza muscular, volumen muscular, rango de movimiento, estabilidad, dolor, edema, etc. Sin embargo, el objetivo de esta valoración es el de actualizar la información que tenemos en relación con los cambios que puede producir la restricción del flujo sanguíneo en el volumen muscular. Es por eso por lo que el resto de los resultados que valoran otras variables no van a estar presentes.

Kacin et al. (26) tras realizar su protocolo de intervención y valorar de manera independiente el CSA de cuádriceps y de isquiotibiales llegan a la conclusión de que el protocolo de rehabilitación con BFR produce cambios estadísticamente significativos en el CSA del cuádriceps a favor de este grupo frente al grupo control siendo la $p < 0.01$, mientras que en el caso del CSA isquiotibial no encuentran diferencias significativas. (18) Hughes et al. (19) valoró con su protocolo de BFR las diferencias en el aumento del volumen muscular en el vasto lateral del cuádriceps de la pierna lesionada y no logró encontrar diferencias significativas entre grupo con BFR y grupo control ($P = 0.33$).

Li et al. (18) valoró con un protocolo de BFR su efecto sobre el aumento de volumen muscular, en este estudio concreto se tomaron como referencia presiones de 40% y 80%. Tras terminar el protocolo de rehabilitación, se objetivaron mejoras significativas en el aumento del volumen muscular en el grupo de BFR 40% respecto al grupo control ($P = 0.017$) y también del grupo BFR 80% sobre el mismo grupo control ($P = 0.00$). Asimismo, se valoró la diferencia entre los dos grupos que utilizaban BFR hallándose mayores beneficios en el grupo con 80% de oclusión ($P = 0.004$).

Por su parte, Iversen et al. (5) con un protocolo de BFR intermitente, donde se aplicaba estímulo de

oclusión durante 5 minutos y después se realizaban 3 minutos de descanso, no halló cambios estadísticamente significativos en la caída del CSA entre el grupo BFR y el grupo control ($P = 0.6265$).

Takarada et al. (2), con un protocolo similar al anterior, pero aplicando mayor presión de base (180mmHg), consigue hallar diferencias significativas en la reducción de la pérdida del CSA en musculatura extensora a favor del grupo BFR frente al control ($P=0.046$), no así en la musculatura flexora ($P=0.69$).

Por último, Ohta. et al (14) centro su investigación en valorar diferencias en el ratio preoperatorio/postoperatorio, por un lado en la musculatura extensora de rodilla y por otro en la flexora y aductora. Tras el protocolo de entrenamiento en cuestión, se hallaron diferencias significativas en este ratio a favor del grupo BFR en musculatura extensora ($P=0.04$), no así en la musculatura flexora y aductora donde no se objetivaron diferencias ($P>0.05$).

AUTOR	TIPO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	INTERVENCION	PRESIÓN DEL TORNIQUETE	DURACIÓN DE LA INTERVENCIÓN	RESULTADOS
KACIN ET AL (2021)	ECA	n total = 18 (6 h, 6 m) (edad 37.5 ± 9 años) grupo control: n = 6 grupo experimental: n = 6 sujetos control para biopsia muscular = 6	9 entrenamientos: 3 sesiones semanales durante 3 semanas. intervencion: 4 series de extensiones de rodilla de flexiones de rodilla, carga externa 40 rm hasta fallo muscular.	150 MMHG	3 semanas, 3 sesiones a la semana	CSA cuádriceps: GE > GC (p<0.01) CSA isquiotibiales: GE = GC (p= 0.624)
HUGHES ET AL (2019)	ECA	n= 24 (17 hombres, 7 mujeres, edad 29 ± 7) GE: n= 12 (30% 1rm) GC: n= 12 (70% 1rm)	16 entrenamientos: 8 semanas de 2 entrenamientos semanales. press unilateral combinado con un protocolo de rehabilitación de hospital. GE = 4 series (30, 15, 15, 15 reps) 30% 1rm + bfr. GC = 3x10 (70% 1rm)	Sistema personalizado de presión al 80% LOP.	8 semanas, 2 sesiones a la semana.	Volumen muscular GE = GC (p= 0.33)
LI ET AL (2023)	ECA	n total= 23 GC n= 6 (edad 28.33 ± 5.19) GE 40% n= 9 (edad 29.67 ± 3.97) GE 80% n= 8 (30.50 ± 5.26)	8 semanas de 2 entrenamientos semanales. Press unilateral combinado con un protocolo de rehabilitación de hospital.	Sistema personalizado de presión al 40% y 80% LOP.	8 semanas, 2 sesiones a la semana.	Volumen muscular GC < GE 40% (p= 0.017) GC < GE 80% (p= 0.00) GE 40% < GE 80% (p=0.004)

Tabla 2 "Resultados de los estudios incluidos"

AUTOR	TIPO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	INTERVENCIÓN	PRESIÓN DEL TORNIQUETE	DURACIÓN DE LA INTERVENCIÓN	RESULTADOS
IVERSEN ET AL. (2016)	ECA	n total= 24 GE n=12 (7h, 5m) (edad 24.9 ± 7.4) GC n=12 (7h, 5m) (edad 29.8 ± 9.3)	2 sesiones diarias. ge: 20 reps cuádriceps isométrico, extensiones de rodilla y aslr, en 5 mins de oclusión. descanso 3 minutos sin oclusión. 5 series. GC: idem sin oclusión.	Comienzo en 130mmhg y avanza 10 mmhg cada 2 días hasta 180 o máxima sensación soportada por paciente.	16 días, 2 sesiones diarias.	CSA GC= GE (p = 0.6265)
TAKARADA ET AL. (2000)	ECA	n total = 16 GE n= 8 (4h, 4m), (edad h: 22.8 ± 0.9, m: 22.0 ± 0.9) GC n= 8 (4h, 4m), (edad h: 23.3 ± 1.3, m: 22.8 ± 1.0)	2 sesiones diarias. ge: protocolo de rehabilitación de hospital, en 5 mins de oclusión. descanso 3 minutos sin oclusión. 5 series. GC: idem sin oclusión.	Comienzo en 180mmhg y avanza cada día 10mmhg hasta tolerancia individual.	2 semanas	CSA extensores: GC < GE (p=0.046) CSA flexores: GC = GE (p=0.69)
OHTA ET AL (2003)	ECA	n total= 44 GE n= 22 (13h, 9m) , (edad 28 ± 9.7) GC n= 22 (12h, 10m), (edad 30 ± 9.7)	semanas 5-16: sentadilla isométrica, step-up x 20. 3 x 6 días a la semana. semanas 9-12: flexión rodilla con goma x 20, 1 vez al día 6 días a la semana. semanas 13-16: flexión rodilla con goma x 20	180mmhg	16 semanas	ratio CSA extensores preop/postop GE > GC (p=0.04) ratio CSA flexores + add preop/postop GE = GC (p>0.05)

DISCUSIÓN

Discusión general.

Tras haber llevado a cabo la recopilación de ensayos clínicos aleatorizados en los que se evaluaran los efectos que puede producir la terapia con BFR en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior en deportistas, llegamos a realizar un análisis más exhaustivo de los 6 que cumplían con los requisitos que exigíamos.

Tras su lectura y comprensión podemos deducir que el entrenamiento con BFR es efectivo para acelerar la mejora del volumen muscular y del CSA así como para prevenir la pérdida de estos en fase preoperatoria. Sin embargo, las diferencias entre estudios, provenientes de la ausencia de un protocolo estandarizado que marque una presión concreta de oclusión o un punto o utensilio concreto de medición, hacen que estos resultados den lugar a dudas y planteen la necesidad de realizar más estudios que esclarezcan la duda planteada inicialmente.

Dentro de los 6 estudios analizados, 4 de ellos hallan resultados estadísticamente significativos afirmando que el entrenamiento con BFR aumenta en mayor medida el volumen muscular, el CSA y hace que el ratio pre-post operatorio sea menor que en personas que se rehabiliten sin BFR (2,14,18,26). Los otros dos estudios no cuentan con significancia estadística en sus resultados (5,19).

Algo para tener en cuenta es que se ha confirmado el efecto de esta terapia para la musculatura extensora, mientras que no ha sido posible para la flexora. Los isquiotibiales parecen no verse beneficiados por esta técnica, no existiendo diferencias significativas al comparar entre grupos en 3 de los estudios (2,14,26).

Existe una gran cantidad de información acerca de este tema y cada vez son más los estudios que se incluyen en bases de datos, nos encontramos efectos sobre el dolor (26,28), el ROM (8), la

funcionalidad (29,30), la estabilidad (31,32) y por supuesto sobre el volumen muscular, entre otros. La mayoría de los artículos coinciden en que la utilización de un protocolo de entrenamiento con BFR es más efectivo que un entrenamiento sin este. Esta efectividad se observa sobre todo en el tiempo, un protocolo con BFR parece reducir el dolor mas rápido que uno sin, a la vez que los sujetos sometidos a esta variable de entrenamiento recuperan el volumen muscular antes que los que no (23). Por esto sería interesante la elaboración de un protocolo de actuación que estandarice la manera en que realizamos la terapia con BFR, para así ser capaces de asegurar una replicabilidad allá donde se quiera utilizar esta técnica.

Todos estos estudios que evalúan diferentes variables que encontramos tras una reconstrucción de ligamento cruzado anterior son de gran utilidad, y nos deben instar a pensar en la utilidad de esta técnica en otro tipo de lesiones o ámbitos como podría ser el rendimiento deportivo, donde ya tenemos estudios que afirman hallar mejoras a corto plazo en picos de fuerza y de potencia en atletas sanos.

Limitaciones del estudio.

Cada vez existe una mayor oferta bibliográfica en lo referente al entrenamiento con BFR y su influencia en la rehabilitación de lesiones. Sin embargo, el hecho de acotar estas lesiones exclusivamente a aquellas que se producen en ligamentos cruzados anteriores ya de por sí presenta una limitación. Sumado a esto cabe destacar lo mencionado anteriormente, existen numerosos estudios que analizan el volumen muscular, así como el CSA, la fuerza, el dolor o el rango de movimiento. En función del estudio encontramos instrumentos diferentes para realizar la oclusión así como porcentajes distintos de presión. Al mismo tiempo no existe un protocolo de entrenamiento estandarizado para la misma lesión y la presión ejercida por el instrumento se aplica continua o intermitente en función del estudio. Es justamente la inexistencia de un protocolo a seguir por todos

lo que resta replicabilidad y firmeza a la hora de llegar a una conclusión sobre su efecto.

Relevancia para la práctica clínica.

Es importante que sigan realizándose revisiones sistemáticas donde podamos comparar entre estudios de investigación que tienen un mismo fin y así poder tener constantemente un actualización de la temática en cuestión. En concreto esta revisión se centra en mostrarse relevante para aquellos profesionales y/o investigadores que se pregunten si hay alguna manera de acelerar ese proceso de recuperación post operatorio de sus deportistas que se salga de los protocolos convencionales y que trate de mejorar estos.

Recomendaciones para futuras investigaciones

A los futuros autores que aborden este tema de investigación les recomendaría no acotar la búsqueda exclusivamente a la variable de volumen muscular. Incluir variables como el dolor, el rango de movimiento o incluso la funcionalidad o estabilidad como incluyen algunos estudios hará de sus investigaciones trabajos de mayor peso. Así mismo, otra recomendación sería tratar de encontrar estudios lo más parecidos entre ellos, intentando que reúnan métodos de actuación lo más similares posibles, así como acotar la búsqueda de artículos a aquellos con mayor calidad investigadora, esto hará de su revisión un estudio de mayor calidad.

CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática ha servido para mostrar el efecto positivo del BFR por encima de los tratamientos convencionales en el aumento del volumen muscular y el CSA de la musculatura del miembro inferior. Independientemente del tipo de restricción que se lleve a cabo somos capaces de conseguir resultados más velozmente que no utilizando esta técnica.

Es efectivo para aumentar el volumen de la musculatura extensora, sin embargo no llega a demostrar efectos sobre la flexora. Deberían realizarse más estudios en relación con esta diferencia con el objetivo de intentar conseguir una mejora en ambas cadenas musculares.

Estos hallazgos que podemos extraer de la revisión hacen que podamos considerar la terapia con BFR como método de tratamiento tanto en pre como en post operatorio en fases iniciales.

El hecho de mostrar con este estudio diferentes protocolos y estilos de BFR nos debe hacer ver la considerable variedad de aplicabilidad que presenta, permitiéndonos adaptar la terapia a las necesidades del paciente sin necesidad de sacrificar los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kuenze CM, Blemker SS, Hart JM. Quadriceps function relates to muscle size following ACL reconstruction. *Journal of Orthopaedic Research*. 2016 Sep 1;34(9):1656–62.
2. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles [Internet]. Vol. 32, *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000. Available from: <http://journals.lww.com/acsm-msse>
3. Wall BT, Dirks ML, Snijders T, Senden JMG, Dolmans J, Van Loon LJC. Substantial skeletal muscle loss occurs during only 5 days of disuse. *Acta Physiologica*. 2014 Mar;210(3):600–11.
4. Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction. Vol. 15, *International Journal of Sports Physical Therapy*. North American Sports Medicine Institute; 2020. p. 882–91.
5. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci*. 2016 Mar 1;5(1):115–8.
6. Hiemstra LA, Webber S, Macdonald PB, Kriellaars DJ. Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction [Internet]. Vol. 32, *Med. Sci. Sports Exerc.* 2000. Available from: <http://journals.lww.com/acsm-msse>

7. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: Two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *American Journal of Sports Medicine*. 2011 Mar;39(3):538–43.
8. Cascio BM, Culp L, Cosgarea AJ. Return to play after anterior cruciate ligament reconstruction. In: *Clinics in Sports Medicine*. 2004. p. 395–408.
9. Kvist J. INJURY CLINIC Rehabilitation Following Anterior Cruciate Ligament Injury Current Recommendations for Sports Participation. Vol. 34, *Sports Med*. 2004.
10. Risberg MA, Lewek M, Snyder-Mackler L. A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: How much and what type? Vol. 5, *Physical Therapy in Sport*. Churchill Livingstone; 2004. p. 125–45.
11. Fleming BC, Oksendahl H, Beynnon BD, Oksendahl H, Beynnon B. Open-or Closed- Kinetic Chain Exercises After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? [Internet]. Vol. 33, *Exerc. Sport Sci. Rev*. 2005. Available from: www.acsm-essr.org
12. Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang JJ. A Modified Neuromuscular Electrical Stimulation Protocol for Quadriceps Strength Training Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction [Internet]. 2003. Available from: www.jospt.org
13. Pearson SJ, Hussain SR. A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. Vol. 45, *Sports Medicine*. Springer International Publishing; 2015. p. 187–200.

14. 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. Vol. 74, *Acta Orthop Scand*. 2003.
15. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa M V., 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. *American Journal of Sports Medicine*. 2020 Mar 1;48(4):825–37.
16. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *American Journal of Sports Medicine*. 2021 Jun 1;49(7):1938–44.
17. Okoroha KR, Tramer JS, Khalil LS, Jildeh TR, Abbas MJ, Buckley PJ, et al. Effects of a Perioperative Blood Flow Restriction Therapy Program on Early Quadriceps Strength and Patient-Reported Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med*. 2023 Nov 1;11(11).
18. Li X, Li J, Qing L, Wang H, Ma H, Huang P. 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*. 2023 Dec 1;24(1).

19. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, et al. 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*. 2019 Nov 1;49(11):1787–805.
20. Jack RA, Lambert BS, Hedt CA, Delgado D, Goble H, McCulloch PC. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Lower Extremity Bone and Muscle Mass After ACL Reconstruction. *Sports Health*. 2022;
21. García-Rodríguez P, Pecci J, Vázquez-González S, Pareja-Galeano H. Acute and Chronic Effects of Blood Flow Restriction Training in Physically Active Patients With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Sports Health*. SAGE Publications Inc.; 2023.
22. Lu Y, Patel BH, Kym C, Nwachukwu BU, Beletksy A, Forsythe B, et al. Perioperative Blood Flow Restriction Rehabilitation in Patients Undergoing ACL Reconstruction: A Systematic Review. Vol. 8, *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. SAGE Publications Ltd; 2020.
23. Wengle L, Migliorini F, Leroux T, Chahal J, Theodoropoulos J, Betsch M. The Effects of Blood Flow Restriction in Patients Undergoing Knee Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 50, *American Journal of Sports Medicine*. SAGE Publications Inc.; 2022. p. 2824–33.
24. Amir-Behghadami M, Janati A. Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Study (PICOS) design as a framework to formulate eligibility criteria in systematic reviews. *Emergency Med J*. 2020;37:387.

25. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: a demographic study. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2009;55(2):129–33.
26. Kacin A, Drobnič M, Marš T, Miš K, Petrič M, Weber D, et al. 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 1;31(8):1636–46.
27. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2021;74:790-799.
28. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood Flow Restriction Training for Athletes: A Systematic Review. *American Journal of Sports Medicine*. 2021 Jun 1;49(7):1938–44.
29. Abe T, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Bemben MG. Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscles: A brief review. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2012 Jul;32(4):247–52.
30. Charles D, White R, Reyes C, Palmer D. A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post acl reconstruction. Vol. 15, *International Journal of Sports Physical Therapy*. North American Sports Medicine Institute; 2020. p. 882–91.
31. Kilgas MA, Lytle LLM, Drum SN, Elmer SJ. Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long after ACL Reconstruction. *Int J Sports Med*. 2019;40(10):650–6.
32. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Protocols 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.

CONFIRMACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO FIN DE GRADO Y DE FIN DE MÁSTER

D/D.^a MANUEL SAIZ EGUREN, con nº de expediente 22381220 estudiante de Máster en FISIOTERAPIA DEPORTIVA

CONFIRMA que el Trabajo Fin de Máster titulado "EFECTOS DE LA RESTRICCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO SOBRE EL VOLUMEN MUSCULAR TRAS RECTURAS DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN PERSONAS FÍSICAMENTE ACTIVAS. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA"

es fruto exclusivamente de su esfuerzo intelectual, y que no ha empleado para su realización medios ilícitos, ni ha incluido en él material publicado o escrito por otra persona, sin mencionar la correspondiente autoría. En este sentido, confirma específicamente que las fuentes que haya podido emplear para la realización de dicho trabajo, si las hubiera, están correctamente referenciadas en el cuerpo del texto, en forma de cita, y en la bibliografía final.

Así mismo, declaro conocer y aceptar que de acuerdo a la Normativa de la Universidad Europea, el plagio del Trabajo Fin de Grado/Máster entendido como la presentación de un trabajo ajeno o la copia de textos sin citar su procedencia y considerándolos como de elaboración propia, conllevará automáticamente la calificación de "suspense" (0) tanto en convocatoria ordinaria como extraordinaria, así como la pérdida de la condición de estudiante y la imposibilidad de volver a matricular esta o cualquier otra asignatura durante 6 meses.

Fecha y firma
11/6/24


ES
M.
os
la f
am
cur
dat

DE MADRID, S.L.U., con domicilio en la C/ Tajo s/n, Villaviciosa de Odón. Asimismo, de no manifestar fehacientemente lo contrario, el titular consiente expresamente el tratamiento automatizado total o parcial de dichos datos por el tiempo que sea necesario para cumplir con los fines indicados. El titular de los datos tiene derecho a acceder, rectificar y suprimir los datos, limitar su tratamiento, oponerse al tratamiento y ejercer su derecho a la portabilidad de los datos de carácter personal, todo ello de forma gratuita, tal como se detalla en la información completa sobre protección de datos en el enlace <https://universidadeuropea.es/proteccion-de-datos>.