

Restricción de flujo sanguíneo en la rehabilitación del ligamento cruzado anterior

Blood flow restriction in anterior cruciate ligament rehabilitation

Aritza Ubieta-García¹ <https://orcid.org/0000-0002-8719-9918>

Lorenzo Antonio Justo-Cousiño^{2,3*} <https://orcid.org/0000-0002-1787-4017>

Salvador Santiago-Pescador¹ <https://orcid.org/0000-0003-3811-7207>

¹Universidad Europea Miguel de Cervantes, Facultad de las Ciencias de la Salud. Valladolid, España.

²Universidade de Vigo, Facultade de Fisioterapia. Campus A Xunqueira. Pontevedra, Galicia, España.

³Instituto de Investigación Sanitaria Galicia Sur (IIS Galicia Sur), Grupo de Investigación Fisioterapia Clínica (FS1), SERGAS-UVIGO. Pontevedra, Galicia, España.

*Autor para correspondencia: lorenzo.antonio.just@gmail.com

RESUMEN

Introducción: La rotura del ligamento cruzado anterior provoca atrofia y pérdida de fuerza, por lo que resulta necesaria una rehabilitación precoz y adecuada. El entrenamiento mediante restricción de flujo sanguíneo parece ser una herramienta segura y efectiva para la ganancia de fuerza y masa muscular en sujetos sanos y en población clínica.

Objetivo: Evaluar el efecto de la rehabilitación con restricción de flujo sanguíneo sobre la fuerza, la masa muscular y la intensidad del dolor en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Métodos: Se realizó la búsqueda de artículos en tres bases de datos, mediante una combinación de términos relativos a la restricción de flujo sanguíneo y rehabilitación del ligamento cruzado anterior. Los estudios seleccionados evaluaron la fuerza, la masa muscular y el dolor. La mayoría de ellos refieren efectos positivos en el uso de la restricción del flujo sanguíneo.

Conclusiones: El entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo durante la rehabilitación temprana en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior puede ser una alternativa para mejorar la fuerza y aumentar la masa muscular. Se equipara al entrenamiento con cargas altas; además, reduce el dolor y el estrés mecánico sobre la articulación de la rodilla.

Palabras clave: restricción del flujo arterial; oclusión vascular; entrenamiento de fuerza; rehabilitación; rodilla; kaatsu.

ABSTRACT

Introduction: Anterior cruciate ligament rupture causes atrophy and loss of strength, which is why early and adequate rehabilitation is needed. Blood flow restriction training is a safe and effective tool for gaining strength and muscle mass in healthy subjects and in the clinical population.

Objective: To evaluate the effect of rehabilitation with blood flow restriction on strength, muscle mass, and pain intensity in patients with anterior cruciate ligament reconstruction.

Methods: Three databases were searched for articles using a combination of terms related to blood flow restriction and anterior cruciate ligament rehabilitation. Selected studies assessed strength, muscle mass, and pain. Most of them report positive effects in the use of blood flow restriction.

Conclusions: Blood flow restriction training during early rehabilitation in anterior cruciate ligament reconstruction may be an alternative to improve strength and increase muscle mass. It is equated to training with high loads; it also reduces pain and mechanical stress on the knee joint.

Keywords: arterial flow restriction; vascular occlusion; strength training; rehabilitation; knee; Kaatsu.

Recibido: 14/04/2022

Aceptado: 07/06/2022

Introducción

La restricción del flujo sanguíneo (RFS) es una técnica que, durante el ejercicio, restringe parcialmente el flujo arterial y, por completo, el flujo

venoso.^(1,2) El Dr. *Yoshiaki Sato* desarrolló la idea de hacer ejercicio mientras se limita la circulación y la popularizó en Japón bajo el nombre de *kaatsu training*. Actualmente se conoce como entrenamiento con RFS o *blood flow restriction training*. La RFS se realiza mediante la aplicación de un manguito hinchable o una correa restrictiva en el área proximal del miembro.⁽²⁾ Esta compresión provoca una disminución parcial del suministro de oxígeno e impide el retorno venoso de las estructuras distales al manguito.^(3,4)

En los últimos años se ha demostrado que el entrenamiento mediante RFS constituye una herramienta segura⁽³⁾ y efectiva para ganar fuerza y masa muscular en sujetos sanos.^(5,6) Sin embargo, los mecanismos fisiológicos de la RFS no se conocen con claridad.^(7,8) El estrés metabólico provoca la hipertrofia muscular, ya que al utilizar cargas bajas de entre el 20 y 40 % de la repetición máxima, reduce el estímulo mecánico.⁽⁹⁾ Durante el ejercicio con RFS se observa un incremento sistémico de la producción de la hormona de crecimiento,⁽¹⁰⁾ un aumento del edema celular⁽¹¹⁾ y de la activación de las vías anabólicas/anticatabólicas intramusculares,^(12,13,14) así como un mayor reclutamiento de fibras anaeróbicas rápidas (tipo II).^(15,16,17) Todas estas variables se relacionan con el desarrollo de la masa muscular.⁽¹⁸⁾

La rotura del ligamento cruzado anterior representa el 50 % de las lesiones de rodilla.⁽¹⁹⁾ La incidencia anual se sitúa en los 250 mil casos.⁽²⁰⁾ Si bien existen opciones de tratamiento conservador, por lo general los pacientes requieren de una cirugía de reconstrucción para restablecer la estabilidad de la rodilla.⁽²¹⁾ Entre las principales secuelas de la lesión y la cirugía se encuentran la atrofia, y la disminución de fuerza en los músculos flexores y extensores de esta área.^(22,23) Estas pérdidas se hacen más significativas en las 12 semanas posteriores a la cirugía.⁽²⁴⁾ La debilidad de la musculatura aumenta la degeneración articular⁽²⁵⁾ y el riesgo de sufrir una nueva recidiva.⁽²⁶⁾

El proceso de rehabilitación tiene como objetivo abordar de forma precoz la debilidad muscular; aunque en las primeras fases, tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior, el entrenamiento de fuerza con cargas altas (≥ 70 % repetición máxima) puede estar contraindicado⁽⁶⁾ debido al estrés mecánico que se genera sobre las estructuras intraarticulares.^(27,28) El entrenamiento con RFS y cargas bajas del 20-30 % se presenta como una alternativa para ganar fuerza e hipertrofia en los pacientes intolerantes al estrés mecánico.^(18,29,30) Esta opción de tratamiento se equipara al ejercicio de fuerza con cargas altas,^(31,32) reduce la intensidad del dolor y mejora la función.^(29,32,33) Siguiendo las recomendaciones metodológicas de aplicación y de seguridad, la RFS se considera una herramienta de rehabilitación clínica segura.⁽²⁹⁾

Esta revisión examinó la literatura publicada con el propósito de evaluar el efecto de la RFS sobre la fuerza, la masa muscular y la intensidad del dolor

durante la rehabilitación de los pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Métodos

La búsqueda de artículos se realizó entre diciembre de 2021 y enero de 2022. Se consultaron tres bases de datos: PubMed, Web of Science (WOS) y Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Se emplearon los términos de búsqueda *blood flow restriction, blood flow restricted, vascular occlusion, kaatsu, anterior cruciate ligament, anterior cruciate ligament reconstruction, knee surgery, knee arthroscopy, knee replacement*. Para centrar la búsqueda se utilizaron los operadores booleanos *OR* o *AND*.

Para seleccionar los artículos se aplicaron los siguientes criterios de inclusión:

- Ensayos clínicos aleatorizados (ECAs) que apliquen la RFS en la rehabilitación de rodilla tras reconstrucción del ligamento cruzado anterior.
- Estudios que apliquen RFS pasiva o con ejercicio como intervención principal.
- Idioma de publicación en español o inglés.
- Ensayos realizados exclusivamente en humanos.

Como criterios de exclusión se tuvieron en cuenta:

- Estudios realizados en la fase preoperatoria.
- Estudios con una intervención menor a dos semanas.
- Estudios que analizasen solo los efectos agudos.
- Artículos descriptivos, revisiones o estudios de casos-contrroles, series o reportes de casos, estudios transversales, estudios ecológicos, estudios cuasi-experimentales y ensayos clínicos no aleatorizados.

Los artículos se evaluaron mediante la escala PEDro, que valora de forma objetiva la calidad metodológica de los ECAs y muestra una fiabilidad aceptable;⁽³⁴⁾ sin embargo, en el estudio de *Albanese* y otros⁽³⁵⁾ se cuestiona la validez de constructo de esta escala, y recomiendan guiarse por los criterios individuales en vez de por la puntuación total. Por otro lado, se tuvieron en cuenta los criterios PRISMA para revisiones sistemáticas.⁽³⁶⁾

Resultados

Las muestras de los estudios seleccionados tuvieron de 12 a 44 sujetos y todas sumaron 166 casos. En cuanto al género, hubo una proporción similar entre mujeres y hombres, un 43 y un 57 % respectivamente. El rango de edad estuvo entre los 14 y 52 años.

Las investigaciones duraron de 2 a 16 semanas (tabla 1). Todos realizaron una intervención activa mediante ejercicios de fuerza principalmente de extensión de rodilla, excepto *Takarada* y otros⁽³⁷⁾ que aplicaron una oclusión vascular de forma pasiva. Tres estudios realizaron ejercicios en cadena cinética cerrada,^(38,40,41,42) y uno utilizó cadena cinética abierta.⁽³⁹⁾

Tabla 1- Características de los estudios

Autor	Características	Grupos	Edad media	Intensidad del ejercicio de fuerza	Sesiones/ semana	Semanas de intervención	Presión de la RFS	
							Relativa (POC)	Absoluta (mmHg)
Takarada et al ³⁷	N = 16 (8 H y 8 M)	GO: n = 8 GC: n = 8	GO: 22.4±2.1 GC: 23.0±2.5	Oclusión pasiva	14	2	-	180-238 (+10mmHg)
Ohta et al ³⁸	N = 44 (25 H y 19 M)	ERFS: n = 22 EN: n = 22	ERFS: 28±9.7 EN: 30±9.7	Carga muy baja (<20 % RM)	12	16	-	180
Iversen et al ⁴¹	N = 24 (14 H y 10 M)	ERFS: n = 12 EN: n = 12	ERFS: 24.9 ±7.4 EN: 29.8±9.3	Carga muy baja (<20 % RM)	14	2	-	130 (+10mmHg cada 2 días, 180mmHg Máx)
Hughes	N =	ERFS:	ERFS: 29±7	ERFS: 30	2	8	80	ML: 150 ±

<i>et al</i> ³⁹	24 (17 H y 7 M)	n = 12 ENCA: n = 12	ENCA:29± 7	% RM ENCA: 70 % RM			%	3 MNL: 157 ± 6
Hughes <i>et al</i> ⁴⁰	N = 24 (17 H y 7 M)	ERFS: n = 12 ENCA: n = 12	ERFS:29±7 ENCA:29± 7	ERFS: 30 % RM ENCA: 70 % RM	2	8	80 %	ML: 150 ± 3 MNL: 157 ± 6
Curran <i>et al</i> ⁴²	N = 34 (15 H y 19 M)	CC: n = 8 EC: n = 8 RFSCC: n = 9 RFSEC: n = 9	CC:16±2.6 EC:18.8±3 .9 RFSCC:15. 3±0.9 RFSEC:16. 0±1.7	CC:70 % RM EC:70 % RM RFSCC:70 % RM RFSEC:70 % RM	2	8	80 %	110-186

Abreviaturas: cc: entrenamiento concéntrico; ec: entrenamiento excéntrico; en: entrenamiento sin restricción del flujo sanguíneo; enca: entrenamiento con cargas altas; erfs: entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo; gc: grupo control oclusión simulada; go: grupo oclusión; h: hombres; lop: presión de oclusión arterial del miembro; m: mujeres; ml: miembro inferior lesionado; mnl: miembro inferior no lesionado; rfsc: entrenamiento concéntrico con restricción del flujo sanguíneo; rfsec: entrenamiento excéntrico con restricción del flujo sanguíneo; % rm: porcentaje de la repetición máxima.

Respecto al tipo de RFS, se utilizaron presiones de restricción entre 110-260 mmHg. El ajuste individual de la presión del manguito se efectuó en tres estudios;^(40,41,42) se calculó el 100 % de la presión de oclusión arterial y se aplicó un 80 % de restricción. En los grupos con RFS, se permitió quitar la presión del manguito entre series, con un descanso desde 120 seg⁽⁴²⁾ hasta 15-20 min.⁽³⁸⁾ La restricción intermitente se ejecutó en todos los estudios, excepto en los de *Hughes* y otros^(40,41) que aplicaron una restricción constante durante el ejercicio. La intervención con RFS inició después de la cirugía.

Las principales variables analizadas fueron fuerza, área de sección transversal y dolor. El registro de datos de fuerza y la evaluación del área de sección transversal se hicieron al inicio y al final de la intervención.^(37,38,39) *Curran* y otros⁽⁴²⁾ midieron la fuerza en tres momentos: antes de la cirugía, después de la intervención y en la vuelta a la actividad; sin embargo, el área de sección transversal se observó en 4 ocasiones: antes de la cirugía, antes y después de la intervención y en la vuelta a la actividad. Igualmente, *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ realizaron 4 mediciones: antes y después de la cirugía, en la semana 4 y al término de la intervención, en la semana 9.

Fuerza

Esta variable se evaluó mediante dinamómetro isocinético.^(38,40,42) En el estudio de *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ se utilizó una prensa de pierna para calcular la fuerza máxima mediante la prueba de 10 repeticiones. Se estimaron la fuerza máxima y la fuerza máxima isométrica de los músculos flexores y extensores de rodilla.^(38,40,42) Por su parte, *Curran* y otros⁽⁴²⁾ valoraron el porcentaje de activación muscular voluntaria.

Los resultados mostraron aumentos significativos de la fuerza en los grupos con RFS^(38,40) y hubo un estudio que no encontró diferencias entre grupos.⁽⁴²⁾ Los pacientes que se ejercitaron con cargas bajas y RFS durante 16 semanas, optimizaron la fuerza de los músculos extensores de la rodilla y, en menor medida, la de los músculos flexores.⁽³⁸⁾ Asimismo, los sujetos con entrenamiento de fuerza con cargas altas obtuvieron mejoras similares al grupo con RFS.⁽⁴⁰⁾ En el grupo que no se aplicó RFS, se observaron pérdidas significativas del torque pico de los flexores de rodilla a todas las velocidades y de los extensores de rodilla a 150°/ s y 300°/ s. Los progresos en la fuerza estuvieron principalmente en la musculatura extensora.^(38,40)

Área de sección transversal

La masa muscular se determinó con la resonancia magnética^(37,38,39) y la ecografía.^(40,42) Se valoraron el área de sección transversal,^(37,38,42) el volumen muscular,^(41,42) el ángulo de penación y la longitud del fascículo.⁽⁴¹⁾ En el estudio de *Ohta* y otros⁽³⁸⁾ los sujetos que entrenaron con RFS y cargas bajas incrementaron el área de sección transversal de los músculos extensores de la rodilla. Asimismo, *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ refirieron que el grupo con RFS y el de cargas altas aumentaron el grosor muscular y el ángulo de penación. Por su parte, en el artículo de *Takarada* y otros,⁽³⁷⁾ los casos que emplearon RFS mejoraron significativamente el área de sección transversal de los cuádriceps en comparación con el grupo control.

Dolor

Se analizó mediante la escala de Borg, y los cuestionarios Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (*KOOS*) y el International Knee Documentation Committee.⁽⁴⁰⁾ Se valoró el dolor muscular y el articular de rodilla durante el entrenamiento, y a las 24 h de concluido.⁽⁴¹⁾ *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ observaron una disminución de las molestias. Los sujetos con RFS tuvieron menos dificultades en las sesiones que el grupo que entrenó con cargas altas.⁽⁴⁰⁾

Discusión

El entrenamiento con cargas bajas combinado con RFS durante la primera fase de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior puede optimizar la fuerza e incrementar el volumen muscular.^(37,38) Sin embargo, no todos los estudios encuentran mejoras.^(39,42) La RFS disminuye el dolor de rodilla durante y después del entrenamiento.^(40,41)

La masa muscular comienza a aumentar entre las semanas 6 y 10 de la práctica de fuerza.⁽⁴³⁾ El ejercicio con RFS desarrolla el volumen muscular a partir de las 3 semanas.^(44,45,46) Acorde con estos resultados, en el estudio de *Ohta* y otros⁽³⁸⁾ se observó un crecimiento importante del área de sección transversal de los extensores de rodilla tras 16 semanas de preparación con RFS. En la misma línea, *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ refirieron que el grosor muscular se acrecentó en ambos grupos después de 8 semanas y se relacionó con el incremento del ángulo de penación.

Los avances fueron más relevantes entre las semanas 5 y 8, lo cual está respaldado por la literatura científica.⁽⁴³⁾ Otros autores hallaron hipertrofia muscular con intervenciones de 1 a 3 semanas.^(46,47,48) *Takarada* y otros⁽³⁷⁾ determinaron una ampliación del área de sección transversal de los extensores de rodilla después de 10 días de oclusión vascular pasiva. Esto puede ser porque utilizaron presiones de oclusión más elevadas con aplicaciones más periódicas.

El entrenamiento con RFS y el de cargas altas desarrollan la masa muscular;⁽³⁰⁾ pero esto no se observó en todos los estudios.^(39,42) Por ejemplo, *Iversen* y otros⁽³⁹⁾ realizaron un control similar al de *Takarada* y otros;⁽³⁷⁾ sin embargo, no encontraron diferencias entre grupos, porque los sujetos se ejercitaron en casa, sin supervisión, y es muy probable que incumplieran el protocolo. La medición del área de sección transversal la realizaron 2 días después de terminar con la RFS, a diferencia de *Takarada* y otros⁽³⁷⁾ que lo hicieron a las 24 h de la última sesión de oclusión vascular pasiva. Esto se relaciona con el edema celular producido por el estímulo oclusivo más que por una hipertrofia muscular.⁽¹¹⁾

Estudios previos efectuaron un seguimiento a los 7 días de la intervención para comprobar los cambios en el volumen muscular.^(46,49,50) *Curran* y otros⁽⁴²⁾ no encontraron diferencias de volumen del recto femoral entre grupos y comenzaron la observación a las 10 semanas de la cirugía de ligamento cruzado anterior. Una vez instaurada la atrofia en la musculatura es más difícil recuperar las capacidades previas al tratamiento quirúrgico.

La variabilidad de la frecuencia de entrenamiento con RFS puede afectar los cambios de masa muscular. Se ha descrito que para conseguir una hipertrofia se necesita entrenar fuerza 2 o 3 veces por semana.⁽⁵¹⁾ Si se entrena con RFS y cargas bajas, tendrá mayores efectos que ejercitar 4 o 5 días.⁽¹⁾ No obstante, *Iversen* y otros,⁽³⁹⁾ al igual que *Takarada* y otros,⁽³⁷⁾ aplicaron la RFS durante 50 min al día y no hallaron un incremento de volumen muscular. Esta diferencia se relaciona con presiones de restricción más bajas⁽³⁹⁾ que pueden reducir el estrés metabólico y, en consecuencia, atenuar los efectos anabólicos de la RFS.

Otros autores siguieron una frecuencia baja de entrenamiento, 2 sesiones a la semana,^(40,42) y determinaron un crecimiento muscular en ambos grupos. Cabe destacar que el volumen de ejercicio fue mayor en el grupo con RFS que en el grupo que entrenaba con cargas altas (75 repeticiones/serie vs 30 repeticiones/serie, respectivamente). Estos resultados sugieren que se necesita una considerable cantidad de ejercicio con RFS para que se iguale al de cargas altas. Por su parte, *Curran* y otros,⁽⁴²⁾ con igual frecuencia de entrenamiento, no refieren expansión muscular. Posiblemente para revertir los efectos de la atrofia se requiera más ejercitación con una mayor asiduidad.

La intensidad de la práctica permite la ganancia de masa muscular: se debe entrenar con cargas altas > 60 % de repeticiones máximas;⁽⁵¹⁾ aunque la RFS con cargas bajas (20-40 % repeticiones máximas) es igual de efectiva.^(29,30) Según *Lowery* y otros,⁽⁵²⁾ además de la intensidad del ejercicio, hay que seguir el principio de sobrecarga progresiva. *Patterson* y otros⁽²⁾ sugieren que 8 series de entre 15 y 30 repeticiones a la semana pueden ser suficientes. *Ohta* y otros⁽³⁸⁾ efectuaron una progresión en 8 ejercicios durante 12 semanas y lograron un aumento de la masa muscular.

El entrenamiento con RFS regenera la fuerza en comparación con el realizado con cargas bajas.⁽²⁹⁾ Las cargas altas están contraindicadas durante la rehabilitación porque someten la articulación a un gran estrés mecánico y pueden producir dolor al paciente.^(6,18) *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ determinaron que el grupo que entrenó con cargas altas tuvo pérdidas importantes del torque pico de los extensores de rodilla a 150 y 300°/s, mientras que el grupo que entrenó con RFS no tuvo una disminución tan grave. Esto se debe a la inhibición artrogénica que provoca el dolor.⁽⁵³⁾ El grupo con cargas altas tuvo más molestias y derrame en la rodilla, lo cual pudo haber afectado el rendimiento durante la medición del torque. Las mejoras del torque pico a 60°/s se han observado únicamente después del ejercicio en cadena cinética abierta.⁽⁵⁴⁾

La presión aplicada también podría explicar las diferencias entre los estudios. Cuando se aplica RFS de forma pasiva, las presiones ascienden y proporcionan efectos protectores contra la atrofia producida por períodos de reposo en

cama o inmovilización.^(37,55) Por otro lado, en la RFS combinada con ejercitación se aplican presiones más bajas. Una restricción entre el 40 y 80 % de la presión de oclusión arterial (POC) puede ser eficaz y segura en combinación con el ejercicio.⁽²⁾ Si no prospera el volumen muscular, pueden necesitarse presiones más altas para producir un efecto terapéutico en pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior.^(39,42) La aplicación de presiones más bajas reduce el estrés metabólico, pero también la activación de la síntesis proteica.

La musculatura extensora de la rodilla se desarrolló más que la musculatura flexora en términos de fuerza y aumento de masa muscular, porque los extensores de rodilla trabajaron más.^(37,38,39) En el estudio de *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ disminuyó el torque pico de los flexores de rodilla en ambos grupos. Esto ocurre cuando en la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior, se extrae el autoinjerto de la musculatura isquiotibial y merma su fuerza. Este desgaste fue menor en el grupo con RFS por el mayor reclutamiento de fibras rápidas que produce la RFS.⁽⁵⁶⁾

Las primeras fases de la rehabilitación de la cirugía de ligamento cruzado anterior tienen como objetivo prioritario reducir las molestias en la rodilla, un síntoma común en los pacientes intervenidos.⁽²¹⁾ El malestar anterior de rodilla provoca una disminución inmediata de la función del cuádriceps y de los isquiotibiales,^(57,58) y promueve los efectos negativos de la atrofia. *Hughes* y otros⁽⁴⁰⁾ describen una mengua del dolor articular en el grupo con RFS lo cual resulta del uso de cargas bajas (30 % repeticiones máximas) que generan menor estrés mecánico sobre la articulación.

Después del entrenamiento, el grupo de RFS tuvo una mayor hipoalgesia. Se ha comprobado que las molestias se reducen desde el momento de la aplicación de la RFS y se prolongan hasta 45 min después de retirarla.⁽⁵⁹⁾ Algunos autores informan que el grupo de RFS tuvo menos incomodidad 24 h después del entrenamiento.⁽⁴¹⁾

La disminución del dolor debe relacionarse con el efecto hipoalgésico del ejercicio^(60,61) y el inducido por la RFS.⁽⁵⁹⁾ Se han reportado molestias durante el entrenamiento en el grupo con RFS hasta las semanas finales del estudio;⁽⁴¹⁾ pero se asocian con la acumulación de metabolitos por la oclusión venosa, la hipoxia y la estimulación de las fibras aferentes tipo III y IV.⁽⁶²⁾ La amplificación de la respuesta al dolor muscular podría estar relacionada con la progresión de cargas y las mayores presiones de oclusión aplicadas.^(63,64,65,66) Estas dolencias no tuvieron consecuencias negativas para la investigación, solo *Ohta* y otros⁽³⁸⁾ refieren 2 casos de abandono por incomodidad en el miembro inferior.

Se encontró un escaso número de publicaciones sobre reconstrucción de ligamento cruzado anterior y rehabilitación con RFS. De los artículos incluidos

en esta revisión, varios trabajaron con una pequeña muestra y mostraron una baja calidad metodológica. Las mejoras de fuerza e incremento de masa muscular se midieron a corto plazo, por lo que no se puede constatar si estos avances se mantuvieron en el tiempo. Además, se emplearon protocolos de RFS heterogéneos, por lo que resulta difícil comparar sus efectos. Se necesitan procedimientos estandarizados que contemplen la duración de la RFS diaria, las presiones utilizadas y los tiempos de reperusión para evaluar los efectos del entrenamiento con RFS. Los resultados que no consideran la anchura del manguito y el tamaño del miembro para calcular la POC^(37,38,39) deben interpretarse con cautela, ya que esta limitación genera variabilidad de presiones de un sujeto a otro. El volumen de entrenamiento y la frecuencia fueron parámetros muy dispares entre los estudios, así como la intensidad del ejercicio, que en todas las ocasiones no se cuantificó.^(38,39)

Conclusiones

Un mayor volumen de entrenamiento con RFS incrementa la fuerza en las primeras fases de la rehabilitación tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Igualmente, puede disminuir la atrofia a corto plazo y reducir el dolor durante el ejercicio, pues provoca una hipoalgesia hasta 24 h después del entrenamiento. Estos resultados se deben interpretar con cautela porque la evidencia disponible es aún limitada y heterogénea.

Referencias bibliográficas

1. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bembem MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(5):1849-59. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2167-x>
2. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, *et al.* Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol.* 2019;10:533. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
3. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bembem MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med & Sci Sports.* 2011;21(4):510-8. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x>
4. Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(11):2077-83. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182625928>

5. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. *J Sci Med Sport*. 2016;19(5):360-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.04.014>
6. Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2016;19(8):669-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.09.005>
7. Segal NA, Williams GN, Davis MC, Wallace RB, Mikesky AE. Efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis. *PM & R*. 2015;7(4):376-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.09.014>
8. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med*. 2015;45(3):313-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0288-1>
9. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med*. 2015;45(2):187-200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>
10. Reeves G v, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, *et al*. Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol*. 2006;101(6):1616-22. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00440.2006>
11. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, Bemben MG. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypoth*. 2012;78(1):151-4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.10.014>
12. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, *et al*. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol*. 2007;103(3):903-10. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00195.2007>
13. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, *et al*. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol*. 2010;108(5):1199-209. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01266.2009>
14. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, *et al*. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(3):406-12. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318233b4bc>
15. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2002;86(4):308-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0561-5>
16. Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Shirakawa J, Sato Y, Abe T. Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow.

- J Sports Sci. 2009;27(5):479-89. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640410802626567>
17. Yasuda T, Loenneke JP, Ogasawara R, Abe T. Influence of continuous or intermittent blood flow restriction on muscle activation during low-intensity multiple sets of resistance exercise. *Acta Physiol Hung.* 2013;100(4):419-26. DOI: <https://doi.org/10.1556/APhysiol.100.2013.4.6>
18. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18(4):401-16. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00788.x>
19. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csm.2016.08.001>
20. Astur DC, Xerez M, Rozas J, Debieux PV, Franciozi CE, Cohen M. Anterior cruciate ligament and meniscal injuries in sports: incidence, time of practice until injury, and limitations caused after trauma. *Rev Bras Ortop.* 2016;51(6):652-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2016.04.008>
21. Musahl V, Karlsson J. Anterior cruciate ligament tear. *N Engl J Med.* 2019;380(24):2341-8. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMcp1805931>
22. Norte GE, Knaus KR, Kuenze C, Handsfield GG, Meyer CH, Blemker SS, *et al.* MRI-Based assessment of lower-extremity muscle volumes in patients before and after ACL Reconstruction. *J Sport Reh.* 2018;27(3):201-12. DOI: <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0141>
23. Thomas AC, Wojtys EM, Brandon C, Palmieri-Smith RM. Muscle atrophy contributes to quadriceps weakness after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sci Med Sport.* 2016;19(1):7-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.12.009>
24. Grapar T, Drobnič M, Vauhnik R, Koder J, Kacin A. Factors predicting quadriceps femoris muscle atrophy during the first 12 weeks following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee.* 2017;24(2):319-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.11.003>
25. Petterson SC, Barrance P, Buchanan T, Binder-Macleod S, Snyder-Mackler L. Mechanisms underlying quadriceps weakness in knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(3):422-7. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31815ef285>
26. Keays SL, Bullock-Saxton JE, Newcombe P, Keays AC. The relationship between knee strength and functional stability before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Res.* 2003;21(2):231-7. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(02\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(02)00160-2)
27. Yan F, Xie F, Gong X, Wang F, Yang L. Effect of anterior cruciate ligament rupture on secondary damage to menisci and articular cartilage. *Knee.* 2016;23(1):102-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knee.2015.07.008>
28. Illingworth KD, Hensler D, Casagrande B, Borrero C, van Eck CF, Fu FH. Relationship between bone bruise volume and the presence of meniscal tears

- in acute anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traum Arthrosc.* 2014;22(9):2181-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2657-y>
29. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British J Sport Med.* 2017;51(13):1003-11. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
30. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceição MS, Damas F, *et al.* Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018;48(2):361-78. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
31. Ladlow P, Coppack RJ, Dharm-Datta S, Conway D, Sellon E, Patterson SD, *et al.* Low-load resistance training with blood flow restriction improves clinical outcomes in musculoskeletal rehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Front Physiol.* 2018;9:1269. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01269>
32. Ferraz RB, Gualano B, Rodrigues R, Kurimori CO, Fuller R, Lima FR, *et al.* Benefits of resistance training with blood flow restriction in knee osteoarthritis. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(5):897-905. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001530>
33. Giles L, Webster KE, McClelland J, Cook JL. Quadriceps strengthening with and without blood flow restriction in the treatment of patellofemoral pain: a double-blind randomised trial. *British J Sport Med.* 2017;51(23):1688-94. DOI: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096329>
34. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Therap.* 2003;83(8):713-21. DOI: <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.713>
35. Albanese E, Bütikofer L, Armijo-Olivo S, Ha C, Egger M. Construct validity of the Physiotherapy Evidence Database (PEDro) quality scale for randomized trials: Item response theory and factor analyses. *Res Synth Methods.* 2020;11(2):227-36. DOI: <https://doi.org/10.1002/jrsm.1385>
36. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, *et al.* PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:160. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
37. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(12):2035-9. DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00011>
38. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand.* 2003;74(1):62-8. DOI: <https://doi.org/10.1080/00016470310013680>

39. 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 Med.* 2019;49(11):1787-805. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01137-2>
40. Hughes L, Patterson SD, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, McCarthy D, *et al.* Examination of the comfort and pain experienced with blood flow restriction training during post-surgery rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstruction patients: A UK National Health Service trial. *Phys Therap Sport.* 2019;39:90-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.06.014>
41. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci.* 2016;5(1):115-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>
42. 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. *Am J Sports Med.* 2020;48(4):825-37. DOI: <https://doi.org/10.1177/0363546520904008>
43. Damas F, Libardi CA, Ugrinowitsch C. The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *Eur J Appl Physiol.* 2018;118(3):485-500. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3792-9>
44. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol.* 2006;100(5):1460-6. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01267.2005>
45. Iida H, Nakajima T, Kurano M, Yasuda T, Sakamaki M, Sato Y, *et al.* Effects of walking with blood flow restriction on limb venous compliance in elderly subjects. *Clin Physiol Func Imag.* 2011;31(6):472-6. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.2011.01044.x>
46. Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, Nygaard T, Hvid LG, Wernbom M, *et al.* Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol.* 2012;590(17):4351-61. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.237008>
47. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, *et al.* Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J KAATSU Train Res.* 2005;1(1):6-12. DOI: <https://doi.org/10.3806/ijktr.1.6>
48. Abe T, Kawamoto K, Yasuda T, Kearns CF, Midorikawa T, Sato Y. Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *Int J KAATSU Train Res.* 2005;1(1):19-23. DOI: <https://doi.org/10.3806/ijktr.1.19>

49. Abe T, Beekley MD, Hinata S, Koizumi K, Sato Y. Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days KAATSU resistance training: A case study. *Int J KAATSU Train Res.* 2005;1(2):71-6. DOI: <https://doi.org/10.3806/ijktr.1.71>
50. Fujita T, Brechue WF, Kurita K, Sato Y, Abe T. Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *Int J KAATSU Train Res.* 2008;4(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.3806/ijktr.4.1>
51. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I-M, *et al.* Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334-59. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>
52. Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, de Souza EO, Machado M, Dudeck JE, *et al.* Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. *Clin Physiol Func Imag.* 2014;34(4):317-21. DOI: <https://doi.org/10.1111/cpf.12099>
53. Palmieri-Smith RM, Villwock M, Downie B, Hecht G, Zernicke R. Pain and effusion and quadriceps activation and strength. *J Athl Train.* 2013;48(2):186-91. DOI: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.2.10>
54. Tagesson S, Oberg B, Good L, Kvist J. A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in closed versus open kinetic chain exercise in patients with anterior cruciate ligament deficiency: a randomized clinical trial evaluating dynamic tibial translation and muscle function. *Am J Sports Med.* 2008;36(2):298-307. DOI: <https://doi.org/10.1177/0363546507307867>
55. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(3):529-34. DOI: <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31815ddac6>
56. Tennent DJ, Burns TC, Johnson AE, Owens JG, Hylden CM. Blood flow restriction training for postoperative lower-extremity weakness: a report of three cases. *Curr Sports Med Reports.* 2018;17(4):119-22. DOI: <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000470>
57. Henriksen M, Rosager S, Aaboe J, Graven-Nielsen T, Bliddal H. Experimental knee pain reduces muscle strength. *J Pain.* 2011;12(4):460-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2010.10.004>
58. Park J, Hopkins JT. Induced anterior knee pain immediately reduces involuntary and voluntary quadriceps activation. *Clin J Sport Med.* 2013;23(1):19-24. DOI: <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3182717b7b>
59. Korakakis V, Whiteley R, Epameinontidis K. Blood flow restriction induces hypoalgesia in recreationally active adult male anterior knee pain patients allowing therapeutic exercise loading. *Phys Therapy Sport.* 2018;32:235-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pts.2018.05.021>

60. Hughes L, Paton B, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Phys Therapy Sport.* 2018;33:54-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pts.2018.07.002>
61. Koltyn KF. Exercise-induced hypoalgesia and intensity of exercise. *Sports Med.* 2002;32(8):477-87. DOI: <https://doi.org/10.2165/00007256-200232080-00001>
62. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, *et al.* Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol.* 2009;106(4):1119-24. DOI: <https://doi.org/10.1152/jap.2009.106.4.1119>
63. Martín J, Ruiz J, Herrero AJ, Loenneke JP, Aagaard P, Cristi C, *et al.* Adaptation of perceptual responses to low-load blood flow restriction training. *J Stren Cond Res.* 2017;31(3):765-72. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001478>
64. Hollander DB, Reeves G v, Clavier JD, Francois MR, Thomas C, Kraemer RR. Partial occlusion during resistance exercise alters effort sense and pain. *J Stren Cond Res.* 2010;24(1):235-43. DOI: <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7badf>
65. Jessee M, Dankel S, Buckner S, Mouser J, Mattocks K, Loenneke J. The cardiovascular and perceptual response to very low load blood flow restricted exercise. *Int J Sports Med.* 2017;38(08):597-603. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0043-109555>
66. Soligon S, Lixandrão M, Biazon T, Angleri V, Roschel H, Libardi C. Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized. *Physiol Int.* 2018;105(3):276-84. DOI: <https://doi.org/10.1556/2060.105.2018.3.18>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.