Efectos del entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo tras la rotura del ligamento cruzado anterior

Ana Belén Lendínez Extremera

Fisioterapeuta en el Centro de Salud de Pulpí. Almería.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00172

Recibido: 15/09/2023
Aceptado: 22/03/2024

Resumen

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) puede ser una herramienta eficaz para mejorar la sintomatología de los pacientes que se someten a un remplazo del ligamento cruzado anterior (ACLR). El objetivo de esta revisión sistemática fue valorar la efectividad del BFR en pacientes intervenidos de ACLR. Para ello, se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica en Pubmed, Cochrane, Scopus, PEDro y CINAHL. Tras la búsqueda realizada se obtuvieron un total de 182 artículos de los que 8 fueron incluidos en esta revisión. Las variables de estudio principales fueron la fuerza muscular, la función física autoinformada de la rodilla y la morfología del recto femoral. Al analizar los resultados de estos estudios, se observó que el entrenamiento con BFR mejoró de forma significativa la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales tras 9 y 18 sesiones, aunque otras investigaciones indicaron que la fuerza muscular aumentaba independientemente de si se usaba un entrenamiento con BFR o no. Por último, el área transversal del cuádriceps fue analizada en dos estudios como variable principal sin encontrarse diferencias significativas. En conclusión, existe evidencia de que el entrenamiento con BFR mejora la fuerza de la rodilla, la sintomatología y la funcionalidad de la rodilla del paciente sometido a ACLR, siempre que se realice tras la cirugía y con intensidades bajas.

Palabras clave:
Entrenamiento. Restricción. Flujo. Sanguíneo. BFR. Ligamento. Cruzado. Anterior. LCA. Reconstrucción. Rehabilitación.

Effects of blood flow restriction training after anterior cruciate ligament rupture

Summary

Blood flow restriction training (BFR) can be an effective tool to improve the symptoms of patients undergoing anterior cruciate ligament replacement (ACLR). The objective of this systematic review was to evaluate the effectiveness of blood flow restriction training in patients with anterior cruciate ligament replacement. For this, an exhaustive bibliographic search was carried out in Pubmed, Cochrane, Scopus, PEDro and CINAHL. After the search, a total of 182 articles were obtained, of which 8 were included in this review. The main study variables were muscle strength, participants' physical function and quadriceps anatomical cross section área (ACSA). When analyzing the results of these studies, it was observed that blood flow restriction training significantly improved the strength of the quadriceps and hamstrings after 9 and 18 sessions although other research indicated that muscle strength increased regardless of whether a blood flow restriction training is used. Finally, quadriceps anatomical cross section area was analyzed in two studies as the main variable without finding significant differences. In conclusion, there is evidence that blood flow restriction training improves knee strength, symptomatology, and knee functionality in patients undergoing anterior cruciate ligament replacement, provided that perform after surgery and with low intensities.

Key words:
Training. Restriction. Flow. Blood. BFR. Anterior. Cruciate. Ligament. ACL. Reconstruction. Rehabilitation.

Correspondencia: Ana Belén Lendínez Extremera
E-mail: anabelenlendin@hotmail.com

Introducción

El ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura compleja de tejido conjuntivo denso, que discurre oblicuamente a través de la fosa intercondílea desde el interior del cóndilo femoral lateral hasta la eminencia intercondílea[1].

Las lesiones del LCA son lesiones traumáticas muy frecuentes en los ligamentos de la rodilla y afectan sobre todo a atletas jóvenes. Suelen ocurrir por mecanismos de baja energía sin contacto, en los momentos de desaceleración, corte y rotación realizados en el deporte[2]. La evidencia actual estima que la incidencia promedio de rotura del LCA se da en 1 de cada 3.500 atletas, observándose una mayor incidencia en los jugadores de fútbol masculino[3]. El valgo dinámico de rodilla es el principal factor de riesgo en estas lesiones, ya que genera fuerzas de tracción significativas en el LCA[4].

El diagnóstico para una lesión del LCA se realiza combinando la historia clínica del paciente, el examen clínico y las posibles pruebas de imagen[5,6].

El tratamiento de una rotura del LCA depende del grado de afectación y de su laxitud patológica. Suele consistir en realizar rehabilitación y reconstrucción del LCA[7]. El tratamiento quirúrgico suele ser con artroscopia. Los tipos de autoinjertos que suelen utilizarse son hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB), isquiotibiales y cuádriceps[8]. También se usan los aloinjertos, utilizando el tendón del tibial anterior, del tibial posterior, el peroneo y el tendón de Aquiles[9].

Tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior se genera una atrofia y debilidad en la musculatura que estabiliza la rodilla, cadera y tronco[10]. Las pautas de entrenamiento de fuerza recomiendan el uso de cargas altas (>60% del 1RM, 8-12 repeticiones)[11] pero este tipo de entrenamiento después de una lesión o tras una cirugía puede estresar negativamente a los tejidos dañados y en proceso de curación. Usar cargas más bajas puede minimizar el estrés excesivo en los tejidos, pero conlleva a una menor capacidad para aumentar la fuerza[12].

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFR) es una técnica novedosa que puede tener una gran relevancia tras la reconstrucción del LCA. Se usa una correa o manguito neumático para restringir de forma parcial el flujo arterial y de forma completa el flujo venoso distal en la musculatura, mientras se realiza ejercicio a intensidad baja con un volumen alto de repeticiones[13]. Se pueden usar cargas situadas entre el 20-40% del 1RM, por lo que el paciente va a tolerar mucho mejor este tipo de entrenamiento, consiguiendo disminuir su dolor y mejorando a la vez su fuerza muscular[14]. Además, este entrenamiento no tiene efectos perjudiciales para la laxitud del injerto del LCA[15].

Las últimas revisiones sistemáticas[16,17] han estudiado los efectos del entrenamiento BFR en la mejora de la atrofia del cuádriceps tras el remplazo quirúrgico del LCA, pero no han valorado los efectos en la musculatura isquiotibial, que también son importantes a la hora de proporcionar estabilidad y funcionalidad tras este tipo de intervención. Por ello, el objetivo principal de esta revisión sistemática será valorar la efectividad del entrenamiento BFR en la mejora de la fuerza muscular de la rodilla tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Material y método

Para la elaboración de esta revisión sistemática se han tenido en cuenta las indicaciones propuestas por Moher *et al.*[18] en la Declaración PRISMA (*"Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analysis"*). También, se han tenido en cuenta las recomendaciones metodológicas planteadas por Higgins *et al.*[19] en el "Manual Cochrane para la Elaboración de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones".

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica fue realizada entre los meses de noviembre y diciembre de 2022 y enero de 2023, usando como bases de datos: Pubmed, Cochrane, PEDro, CINAHL y Scopus.

En la estrategia de búsqueda se tuvo en cuenta el uso del sistema PICOS de Cochrane Library[20], estructurado con los siguientes apartados:

- Población: pacientes intervenidos de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR).
- Intervención: tratamiento mediante entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo.
- Comparación: ejercicios concéntricos, excéntricos, entrenamiento de resistencia con carga pesada (HL-RT), rehabilitación estándar tras ACLR.
- Variables (outcomes): dolor de rodilla percibido, fuerza muscular, esfuerzo percibido al realizar los ejercicios, función física de la rodilla, ROM de la rodilla, laxitud del ligamento y área de sección transversal anatómica del cuádriceps.
- Estudios (*studies*): ECAs

Los descriptores o palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: "blood", "flow", "restriction", "training", "BFR", "anterior", "cruciate", "ligament", "ACL" y "reconstruction". Todos estos descriptores se combinaron con el operador booleano OR y AND.

Criterios de inclusión

Para la realización de un análisis más exhaustivo, los criterios de inclusión utilizados para la selección de los artículos han sido:

- Tipo de estudio: estudios clínicos controlados y aleatorizados (ECA).
- Tipo de intervención: estudios en los que utilicen entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo como tratamiento.
- Tipo de pacientes: hombres o mujeres sometidos a un remplazo del LCA.
- Artículos publicados en idioma español o inglés.

Criterios de exclusión

No se incluyeron otras revisiones sistemáticas ni otros estudios que no fueran ensayos controlados y aleatorizados. Tampoco se analizaron estudios que no estuvieran en los idiomas requeridos ni aquellos que estuvieran incompletos o que no tuvieran una definición correcta y clara de las variables de estudio.

Calidad metodológica de los estudios

Los artículos seleccionados para la revisión sistemática fueron sometidos a una evaluación de su calidad. Para ello se utilizó la escala

PEDro, una de las escalas más usadas con la cual se evaluó la calidad metodológica de los ensayos clínicos. La escala PEDro es un recurso validado y utilizado en las investigaciones y en los ensayos clínicos de intervenciones fisioterapéuticas. Esta escala evalúa la calidad metodológica de los ensayos clínicos controlados aleatorizados.

Análisis de la evidencia científica

En esta revisión se incluyeron estudios donde se realizaron distintos tipos de entrenamiento aplicados al mismo proceso patológico. Resulta complicado y laborioso determinar el beneficio relativo de una intervención frente a otra que aparezca en alguno de los artículos incluidos en la revisión. Debido a esto, para realizar un correcto análisis de la evidencia científica, se usó un método cualitativo que evalúa el nivel de evidencia. Este método está recomendado por el Grupo Cochrane Espalda[21] y usa distintos niveles de evidencia explicados a continuación:

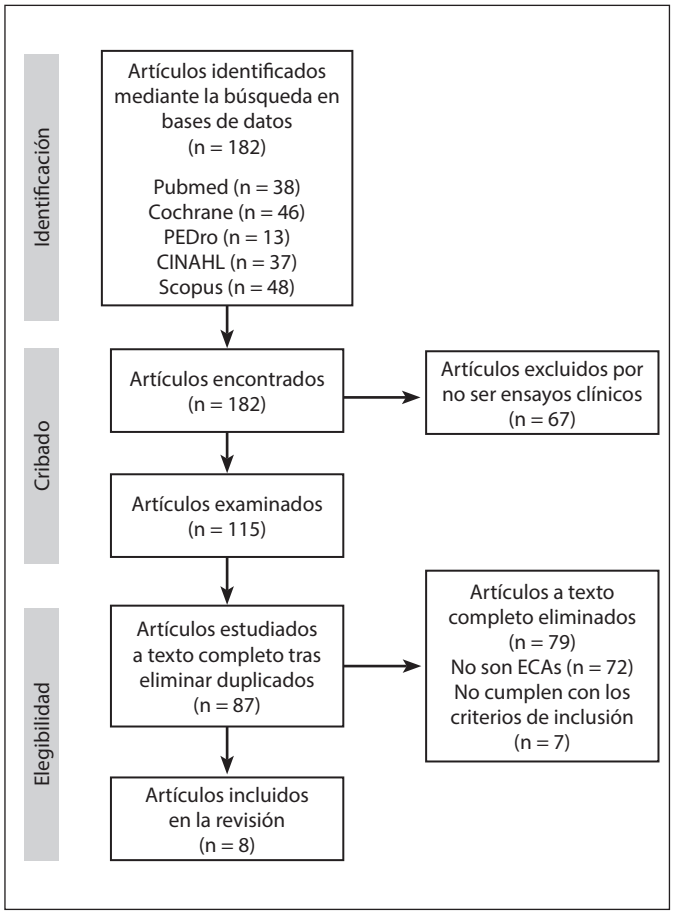
- Nivel 1: muestra una evidencia sólida, que se obtiene a partir de resultados consistentes de varios ECAs que tienen un bajo nivel de sesgo.
- Nivel 2: determina una evidencia moderada, conseguida a partir de resultados de un ECA que posee bajo riesgo de sesgo y/o varios ECAs con un alto riesgo de sesgo.
- Nivel 3: muestra una evidencia limitada, que se obtiene a partir de resultados de un ECA de calidad moderada y uno o varios ECAs de baja calidad con un alto riesgo de sesgo.
- Nivel 4: determina una evidencia insuficiente, alcanzada a partir de resultados sólidos de uno o varios ECAs de baja calidad o cuando los resultados presentados en los estudios son contradictorios.

Resultados

Selección de los estudios

Tras la búsqueda exhaustiva en las diferentes bases de datos (Pubmed, Cochrane, PEDro, CINAHL y SCOPUS), se obtuvieron un total de 182 artículos que hacían referencia al tema elegido. Finalmente quedaron 8 artículos válidos para realizar esta revisión: Curran *et al.*[22], Jack *et al.*[23], Vieira de Melo *et al.*[24], Hughes *et al.*[25], Tramer *et al.*[26], Hughes *et al.*[27], Iversen *et al.*[28], Otha *et al.*[29]. En la Figura 1 se incluye el diagrama de flujo correspondiente al proceso de selección de los artículos.

Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de los artículos.



Calidad metodológica de los estudios

Los ensayos clínicos aleatorizados incluidos en esta revisión obtienen una puntuación mínima de cuatro puntos sobre diez y una máxima de siete sobre diez puntos en la escala PEDro. En la Tabla 1 se puede observar la evaluación de cada artículo escogido según la presencia o ausencia de los ítems de calidad metodológica que se valoran en la escala PEDro.

Tabla 1. Estrategia de búsqueda realizada en las bases de datos utilizadas.

Base de datos	Modo de búsqueda	Resultados
Pubmed	*(blood flow restriction [Title/Abstract] OR blood flow restriction training [Title/Abstract] OR BFR [Title/Abstract]) AND (anterior cruciate ligament reconstruction [Title/Abstract] OR anterior cruciate ligament injury [Title/Abstract] OR ACL [Title/Abstract] OR anterior cruciate ligament [Title/Abstract])*	38
Cochrane	*(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)*	46
PEDro	*blood flow restriction AND anterior cruciate ligament*	13
CINAHL	*(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)*	37
Scopus	*(blood flow restriction OR blood flow restriction training OR BFR) AND (anterior cruciate ligament reconstruction OR anterior cruciate ligament injury OR ACL OR anterior cruciate ligament)*	48
Total		182

Características de los estudios incluidos en la revisión

Tipo de población

Los pacientes que participaron en los 8 artículos incluidos en esta revisión fueron hombres y mujeres con edades comprendidas entre los 14 y los 59 años, que fueron intervenidos o iban a ser intervenidos quirúrgicamente de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR) con autoinjerto de isquiotibiales (sobre todo del tendón del semitendinoso), autoinjerto del cuádriceps o hueso-tendón rotuliano-hueso (BTB).

Variables de estudio e instrumentos de medida

Las variables de estudio principales fueron la fuerza muscular, medida con dinamómetros, la morfología del recto femoral, en el que el volumen se valoró con ecografía, el tiempo de vuelta a la actividad (RTA), que fue medido con pruebas funcionales y escalas como *International Knee Documentation Committee* (IKDC)[30], y la valoración autoinformada de la calidad de vida y los síntomas como el dolor de rodilla percibido, valorados con *International Knee Documentation Committee* (IKDC), la *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score* (KOOS)[31] y el cuestionario Lysholm[32].

Otras variables importantes en esta revisión fueron el ROM, medido con el goniómetro, la laxitud del ligamento de rodilla, medido con un artrómetro, y los cambios en el área transversal del cuádriceps (ACSA), valorados en una resonancia magnética (RM).

Duración del tratamiento

Las intervenciones de los estudios seleccionados tuvieron una duración de entre 2 semanas antes de la cirugía hasta 18 semanas tras la intervención quirúrgica.

Seguimiento

Tras la intervención, tan solo dos estudios refieren un seguimiento posterior. Curran *et al.*[22] lo realizó 2 semanas después de completar su intervención y el ensayo de Jack *et al.*[23] tuvo un seguimiento promedio de 2,3 ± 1 año.

Los principales resultados obtenidos en los estudios analizados se presentan en la Tabla 2.

Vieira de Melo *et al.*[24] llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado y controlado en 28 pacientes. El grupo experimental realizó cuatro series de prensa de piernas más silla flexora añadiendo BFR con un 80% de la presión de oclusión total. Por otro lado, el grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR y con el 70% de 1RM. Se realizó una valoración a las 4, 8 y 12 semanas tras la valoración inicial. Como resultados se observaron diferencias estadísticamente significativas inter-grupo a favor del grupo experimental en el aumento de fuerza del cuádriceps (p <0,01) a las 12 semanas y en los isquiotibiales (p <0,01) a las 8 y 12 semanas. Por otro lado, hubo diferencias significativas en el análisis de la función física a favor del grupo experimental en el cuestionario de Lysholm (p <0,01), en el cuestionario de IKDC (p <0,01) y en el de KOOS (p <0,01).

Hughes *et al.*[25] publicaron un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que participaron 28 pacientes. El grupo experimental y el grupo control realizaron 8 semanas de entrenamiento con dos sesiones por semana. Primero realizaron un calentamiento de 5 minutos en bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga y 5 minutos de descanso. Después, el grupo experimental realizó ejercicios de prensa de piernas unilateral con BFR al 80% de oclusión y el grupo control realizó prensa de piernas unilateral al 70% del 1RM sin BFR. Tras 8 semanas de entrenamiento, hubo diferencias significativas intra-grupo (p <0,01) con respecto al aumento de fuerza muscular en ambos grupos, pero no hubo diferencias significativas inter-grupo (p = 0,22).

Tramer *et al.*[26] realizaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 45 pacientes. Tanto el grupo experimental como el grupo control realizaron ejercicios en casa 5 días a la semana durante dos semanas antes de someterse a la cirugía. En el grupo experimental fueron realizados con BFR al 80% de oclusión y en el grupo control se realizaron los mismos ejercicios sin BFR. Tras dos semanas de ejercicios preoperatorios en casa, hubo diferencias significativas intra-grupo en la mejora de la fuerza de ambos grupos tras las dos semanas de entrenamiento con respecto a la valoración inicial. Sin embargo, no hubo diferencias significativas inter-grupo en esta variable.

Tabla 2. Puntuación en la escala PEDro.

Artículo	Sujetos asignados al azar	Asignación oculta	Grupos homogéneos al inicio	Sujetos cegados	Terapeutas cegados	Evaluadores cegados	Adecuado seguimiento	Análisis por "intención a tratar"	Comparativa de resultados entre grupos	Medidas puntuales y de variabilidad	Puntuación escala PEDro
Curran *et al.*[34]	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	6/10
Jack *et al.*[35]	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Vieira de Melo *et al.*[36]	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	Sí	6/10
Hughes *et al.*[37]	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Tramer *et al.*[38]	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Hughes *et al.*[39]	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7/10
Iversen *et al.*[40]	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6/10
Otha *et al.*[41]	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No	Sí	Sí	4/10

Tabla 3. Resultados de los estudios analizados.

Estudio	Participantes	Diseño	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados	
						Intra-grupo	Inter-grupo
Curran *et al.*[34]	n = 34 Pacientes con ACLR, autoinjerto BTB, del tendón del semitendinoso o del cuádriceps (14-30 años)	ECA GE1 = 9 GE2 = 9 GC1 = 8 GC2 = 8	Cuidados estándar de rehabilitación (10 primeras semanas tras cirugía). Después, 8 semanas de intervención, con 2 sesiones/semana. GE1 = BFR + concéntricos. GE2 = BFR + excéntricos. GC1 = ejercicios concéntricos. GC2 = ejercicios excéntricos.	Fuerza del cuádriceps Volumen del recto femoral RTA	Dinamómetro Biodex System 3 Ultrasonidos GE LOQUIQ IKDC	No se encuentran diferencias significativas en ninguna de las variables.	No hay diferencias significativas entre los grupos con BFR y sin BFR en ninguna de las variables.
Jack *et al.*[35]	n = 32 Pacientes con ACLR, autoinjerto BTB (16-39 años)	ECA GE = 17 GC = 15	12 semanas de tratamiento con 2 sesiones/semana. GE = ejercicios con BFR con oclusión arterial del 80% GC = mismos ejercicios sin BFR.	DMO, masa ósea y LM RTA	DEXA (*Dual-energy-xray-absorptiometry*) Pruebas funcionales: sentadilla a una pierna, Y-balance, prensa a una pierna y curl de isquiotibiales a una pierna.	GC tuvo disminuciones significativas en LM, masa ósea y DMO en la semana 6 y 12. No hubo diferencias significativas en la masa ósea del GE, aunque sí disminuyó la masa ósea del fémur en la semana 12. Ambos grupos tuvieron mejoras funcionales significativas en RTA.	Hubo diferencias significativas en la masa ósea del fémur, que disminuyó en el GC a las 6 y 12 semanas y en la disminución del RTA en el GE.
Vieira de Melo *et al.*[36]	n = 28 Pacientes postoperados con ACLR, autoinjerto de isquiotibial (18-59 años)	ECA GE = 14 GC = 14	12 semanas de tratamiento, 2 sesiones/semana. GE = BFR al 80% de la presión de oclusión total. Prensa de piernas + silla flexora. GC = mismos ejercicios sin BFR. 70% de 1RM.	Fuerza muscular Fuerza isométrica máxima flexores y extensores de rodilla Función física autoinformada de la rodilla	Dinamómetro isométrico MICROFET2 (dinamómetro digital de mano) IKDC y KOOS	Hubo diferencias significativas en el análisis de la función física a favor del GE en el cuestionario de Lysholm y el de IKDC a las 8 y 12 semanas y en el de KOOS a las 4 semanas con respecto a los síntomas y a las 12 semanas con respecto a la calidad de vida.	Se observó diferencias estadísticamente significativas a favor del GE en el aumento de fuerza del cuádriceps y en los isquiotibiales. También hubo diferencias significativas a favor del GE con respecto a la mejora de la fuerza isométrica en cuádriceps e isquiotibiales.
Hughes *et al.*[37]	n = 28 Pacientes con ACLR, autoinjerto de isquiotibiales (22-36 años)	ECA GE = 14 GC = 14	8 semanas de entrenamiento, 2 sesiones/semana. Todos con calentamiento de 5 min de bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga con 5 min de descanso. GE = ejercicios de resistencia con BFR con 80% de oclusión. GC = ejercicios de resistencia con cargas elevadas y sin BFR.	Fuerza muscular máxima Morfología de la musculatura Función física autoinformada Control dinámico postural ROM Laxitud del ligamento	Dinamómetro Biodex System 4 Ultrasonidos LOQUIQ E IKDC, KOOS y escala de Tegner. SEBT Goniómetro Artrómetro KT2000	Entre la pre-cirugía y la post-cirugía se observaron diferencias significativas en ambos grupos con respecto a todas las variables. Hubo diferencias significativas con respecto al aumento de fuerza muscular en ambos grupos y al aumento de la morfología de la musculatura tras 8 semanas de entrenamiento. También hubo diferencias significativas en el aumento del ROM.	No hubo diferencias significativas con respecto a la morfología ni con respecto al ROM, ni a la fuerza de la musculatura. Aunque si hubo diferencias a favor del GE en el aumento de la fuerza la musculatura flexora. Tras el entrenamiento de 8 semanas, hubo diferencias significativas a favor del GE con respecto a las medidas de función autoinformada, control dinámico postural, ROM y reducción del dolor de rodilla.

(continúa)

Tabla 3. Resultados de los estudios analizados *(continuación).*

Estudio	Participantes	Diseño	Intervención	Variables de estudio	Instrumentos de medida	Resultados	
						Intra-grupo	Inter-grupo
Tramer *et al.*[38]	n = 45 Pacientes con desgarro del LCA antes de que se les realice un ACLR con autoinjerto BTB, del tendón del cuádriceps o de los isquiotibiales (14-38 años)	ECA GE = 23 GC = 22	Ejercicios en casa 5 días/semana durante 2 semanas antes de la cirugía. GE = BFR 80% de presión de oclusión. Contracciones de cuádriceps, elevaciones de pierna recta y sentadillas. GC = mismos ejercicios sin BFR.	Fuerza del cuádriceps Función física auto-informada (dolor, depresión y función) ROM Circunfe-rencia del cuádriceps	Dinamómetro de mano VAS y PROMIS Goniómetro Cinta métrica	Tras la intervención hubo diferencias significativas en ambos grupos sobre la pérdida de fuerza muscular en la pierna operada en comparación con la no operada y en la mejora de la fuerza de ambos grupos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en cuanto a la circunferencia del cuádriceps operado con respecto al no operado.	No hubo diferencias significativas en ninguna de las variables.
Hughes *et al.*[39]	n = 28 Pacientes con ACLR, autoinjerto de isquiotibiales (22-36 años)	ECA GE = 14 GC = 14	8 semanas de entre-namiento, 2 sesiones/semana. Todos con calentamiento de 5 min de bici sin carga y 10 repeticiones de prensa unilateral con baja carga con 5 min de descanso. GE = ejercicios de resis-tencia con BFR con 80% de oclusión. GC = ejercicios de resistencia con cargas elevadas y sin BFR.	Dolor de rodilla percibido, dolor muscular y RPE	Escala de Borg	El dolor disminuyó de forma significativa en el GE y en el GC. No hubo diferencias significativas en RPE en ninguno de los grupos, excepo en la 8ª y 9ª sesión, que hubo un aumento significativo del RPE en ambos grupos.	Hubo diferencias significativas inter-grupo con respecto al dolor de rodilla a favor del GE. El dolor muscular aumentó de forma significativa en GE.
Iversen *et al.*[40]	n = 24 Pacientes con ACLR, autoinjerto isquiotibiales (18-40 años)	ECA GE = 12 GC = 12	Realizada entre el día 2 y 14 tras la cirugía. GE = ejercicios con BFR (130-180 mm Hg). 2 sesiones/día. GC = ejercicios sin BFR.	ACSA	RM	No hubo diferencias significativas en la disminución de ACSA 2 días antes de la cirugía ni tras la intervención, pero sí las hubo entre el día 2 y 16 tras la cirugía en el GE y en el GC.	No hubo diferencias significativas en ACSA.
Otha *et al.*[41]	n = 44 Pacientes con ACLR, autoinjerto del tendón semitendinoso (18-52 años)	ECA GE = 22 GC = 22	1ª semana ambos grupos hicieron ejercicios sin BFR. Después: GE = BFR con 180 mm Hg de presión más ejercicios. GC = mismos ejercicios sin BFR.	Estabilidad anterior de rodilla y ROM ACSA Fuerza muscular de la mus-culatura extensora y flexora de la rodilla Diámetro de fibra muscular individual	Artrómetro KT2000 del ligamento de la rodilla RM Miodina-mómetro isocinético Biopsia	No hubo diferencias significativas con respecto al área transversal de la musculatura flexora y extensora de rodilla ni con respecto al diámetro de la fibra muscular antes de la cirugía en el GC y GE, pero sí las hubo tras las 16 semanas en la musculatura femoral del GE pero no en la isquiotibial.	No se encontraron dife-rencias significativas en el ROM, en la estabilidad de la articulación y en el diámetro de la fibra muscular ni antes ni tras la cirugía. Tampoco hubo diferencias signi-ficativas con respecto al área transversal de la musculatura de la rodilla. No hubo diferencias significativas en la fuerza muscular de la muscula-tura flexora y extensora antes de la cirugía, pero sí las hubo a las 16 semanas tras la cirugía a favor del GE.

ACLR: reconstrucción del ligamento cruzado anterior; ACSA: cambios en el área transversal del cuádriceps; BFR: restricción del flujo sanguíneo; BTB: hueso-tendón rotuliano-hueso; DMO: densidad mineral ósea; ECA: ensayo clínico controlado aleatorizado; GC: grupo control; GE: grupo experimental; IKDC: *International Knee Documentation Committee*; KOOS: *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score;* LCA: ligamento cruzado anterior; LM: masa magra; PROMIS: *Patient-Reported Outcome Measurement System*; RM: resonancia magnética; ROM: rango de movimiento; RPE: esfuerzo percibido; RTA: tiempo para volver a la actividad completa; SEBT: *Star Excursión Balance Test;* VAS: escala visual analógica.

Hughes *et al.*[27] llevaron a cabo un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que participaron 28 pacientes. El grupo experimental realizó ejercicios de prensa de piernas unilateral con BFR al 80% de oclusión, mientras que el grupo control realizó prensa de piernas unilateral al 70% del 1RM sin BFR. En cuanto a los resultados, el dolor de rodilla disminuyó de forma significativa intra-grupo en el grupo experimental a partir de la 4ª sesión (p <0,01) y en el grupo control lo hizo a partir de la 6ª sesión (p <0,05), existiendo además diferencias significativas inter-grupo a favor del grupo experimental (p <0,05). Sin embargo, no hubo diferencias significativas intra-grupo con respecto al RPE en ninguno de los grupos, excepto en la 8ª y 9ª sesión, que hubo un aumento significativo del RPE en ambos grupos (p <0,05).

Curran, *et al* [22] diseñaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 34 pacientes. La muestra fue distribuida en cuatro grupos de forma aleatoria. Uno realizó ejercicios concéntricos con entrenamiento de restricción del flujo sanguíneo (BFR), otro realizó ejercicios excéntricos con BFR, el otro grupo realizó exclusivamente ejercicios concéntricos y el último realizaba ejercicios excéntricos. La intervención consistía en realizar cuidados estándar de rehabilitación las diez primeras semanas tras la cirugía. Después, se realizaron ocho semanas de intervención, usando el 80% de oclusión arterial los grupos que realizaron los ejercicios con BFR. Los resultados nos mostraron que no se encontraron diferencias significativas inter-grupo en ninguna de las variables.

Jack *et al.*[23] realizaron un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en el que 32 pacientes fueron divididos de forma aleatoria en dos grupos. El grupo experimental realizó ejercicios con BFR, con una oclusión arterial del 80%, y el grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR. En cuanto a los resultados, se observó que el grupo control tuvo disminuciones significativas intra-grupo en LM (p <0,01), masa ósea (p <0,01) y DMO (p <0,05). Ambos grupos tuvieron mejoras funcionales observándose diferencias significativas inter-grupo en la disminución del RTA en el grupo experimental (p = 0,01).

Iversen *et al.*[28] realizaron un ensayo clínico controlado y aleatorizado en el que participaron 24 pacientes. El grupo experimental realizó ejercicios con BFR y una presión de 130-180 mm Hg, entre el día 2 y el 14 tras la cirugía. El grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR. En cuanto a los resultados, hubo diferencias significativas intra-grupo en la disminución de ACSA entre el día 2 y 16 tras la cirugía en ambos grupos (p <0,0001) pero no hubo diferencias significativas inter-grupo.

Otha *et al.*[29] llevaron a cabo un ensayo clínico controlado de forma aleatoria en 44 pacientes. Al principio ambos grupos realizaron ejercicios sin BFR. A partir de la primera semana el grupo experimental realizó ejercicios con BFR y con una presión de 180 mm Hg. El grupo control realizó los mismos ejercicios sin BFR. Como resultados, no se encontraron diferencias significativas diferencias significativas inter-grupo ni intra-grupo con respecto al área transversal de la musculatura flexora y extensora de rodilla antes de la cirugía. Por otro lado, hubo diferencias significativas inter-grupo con respecto a la fuerza muscular de la musculatura flexora y extensora a las 16 semanas tras la cirugía a favor del grupo experimental (p <0,05).

Discusión

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue valorar la efectividad del entrenamiento BFR en la potenciación muscular de la rodilla tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Para ello, se llevó a cabo un análisis completo de 8 estudios seleccionados en las distintas bases de datos. Tras observar los resultados obtenidos en cada ensayo se han obtenido diferentes efectos según la variable estudiada.

Tras la reconstrucción del LCA se produce una disminución de la fuerza y un aumento de la atrofia muscular, requiriéndose de 4 a 6 meses para que el injerto madure y pueda tolerar carga[33]. El entrenamiento con BFR se puede combinar con cualquier ejercicio usando el 20-30% del 1RM del paciente. Al usar cargas bajas no se provoca tanto estrés mecánico, por lo que se consigue aumentar la fuerza de estos pacientes[24-26,29] y disminuir el riesgo de una posible ruptura del ligamento.

Los estudios analizados[24,25,29] concuerdan con el ensayo de Noyes, *et al.*[34], ya que afirman que el entrenamiento con BFR mejoró de forma significativa la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales tras 9 y 18 sesiones. Otras investigaciones indican que la fuerza muscular aumenta independientemente de si se usa un entrenamiento con BFR o no[25,26,35,36]. Aun así, se debe tener en cuenta que el estudio de Tramer *et al.*[26] fue el único que realizó una intervención con BFR antes de que el paciente se sometiera al ACLR, y sus resultados están en línea con la investigación de Grapar Zargi *et al.*[37]. Ambos afirman que el preacondicionamiento a corto plazo con ejercicios BFR de baja intensidad no muestra efectos diferentes que el entrenamiento sin BFR en cuanto al aumento de masa muscular o a la funcionalidad de la rodilla en los pacientes sometidos a reconstrucción del LCA. Por otro lado, Currant *et al.*[22] fueron los únicos que usaron una resistencia de alta intensidad (70% de 1RM) al realizar el entrenamiento con BFR, y quizás esto pueda explicar la controversia que existe con respecto a los resultados obtenidos en el resto de los artículos. Según la investigación de Lixandrão *et al.*[38], el entrenamiento con BFR es efectivo para la mejora de la fuerza muscular cuando el ejercicio de resistencia se realiza a intensidades muy bajas (20% del 1RM) y puede que por esto Currant *et al.*[22] no observaron diferencias significativas en la mejora de la fuerza muscular tras un entrenamiento con BFR.

Si consideramos variables como la función física autoinformada de la rodilla y síntomas como el dolor, en algunos ensayos se muestran unos mejores resultados al realizar un entrenamiento con BFR tras una intervención de ACLR[24-26]. Esta mejora también se observó en otras investigaciones con pacientes que padecían osteoartritis de rodilla y que realizaron un entrenamiento con BFR para la mejora de sus síntomas[39,40]. Sin embargo, en el estudio de Tramer *et al.*[26] no encontraron diferencias significativas en esta variable. Esto puede deberse a que el entrenamiento fue realizado 2 semanas antes de la cirugía mientras que el resto lo realizaron tras el ACLR[24-26]. La aplicación de BFR en la fase postoperatoria temprana es beneficiosa. El dolor disminuye de forma significativa cuando se realiza BFR, ya que la carga que se suele usar es del 30% del 1RM en comparación con la carga del 70% del 1RM que se debe utilizar si no se realiza BFR. El usar cargas más bajas evita que aparezcan síntomas dolorosos en la articulación durante el entrenamiento[40,41]. Por ello, en este periodo, el ejercicio de alta intensidad no está recomendado, siendo beneficioso el uso de un entrenamiento con BFR[42].

Por último, el área transversal del cuádriceps fue analizada en dos estudios como variable principal sin encontrarse diferencias significativas[28,29]. Estos resultados no concuerdan con el estudio de Takarada *et al.*[43], en el que se observa una disminución significativa del área transversal del cuádriceps del grupo control que realizó entrenamiento sin BFR tras la reconstrucción del LCA. Esto puede deberse a la cantidad de presión de oclusión utilizada en el manguito a la hora de realizar la restricción del flujo sanguíneo. Iversen *et al.*[28] y Otha *et al.*[29] usaron una presión determinada y no la adaptaron a cada participante, mientras que Takarada *et al.*[43] personalizó esta presión teniendo en cuenta las características de cada paciente. La presión de oclusión adecuada debe basarse en la circunferencia del muslo y debe tenerse en consideración el tipo de manguito, ya que cuanto más ancho sea menos presión requiere[44].

Al realizar esta revisión sistemática hemos encontrado algunas limitaciones. El tamaño de la muestra de los ensayos analizados fue bajo y las intervenciones no tuvieron un seguimiento a largo plazo. Por otro lado, los estudios usaron diferentes tipos de injertos a la hora de realizar la reconstrucción quirúrgica del LCA. Esto aumenta la variabilidad de la población y la rehabilitación que los pacientes puedan haber recibido. En futuras investigaciones es necesario comprender si el tipo de injerto influye en cómo los pacientes responden al entrenamiento con BFR.

Conclusión

Tras el análisis realizado de los artículos incluidos en esta revisión se puede concluir que existe una evidencia moderada sobre la efectividad del entrenamiento BFR para la mejora de la fuerza de la musculatura flexora y extensora de rodilla en comparación con el entrenamiento sin BFR, siempre que se realice tras la reconstrucción quirúrgica del ligamento cruzado anterior y con intensidades bajas. También hay una evidencia sólida sobre la mejora de la sintomatología y la funcionalidad de la rodilla si se realiza el entrenamiento BFR tras la cirugía.

Por otro lado, hay una evidencia sólida de que el entrenamiento con BFR, con presiones de oclusión sin individualizar, no es más efectivo para aumentar el área transversal del cuádriceps que el entrenamiento sin BFR.

Para finalizar, cabe decir que se necesitan más investigaciones con un mayor tamaño muestral, con un seguimiento adecuado y con alta calidad metodológica, para así poder ser más precisos a la hora de valorar los efectos del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo en la atrofia muscular tras la rotura del ligamento cruzado anterior.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

1. Iriuchishima T, Goto B. Systematic review of cadaveric studies on anterior cruciate ligament anatomy focusing on the mid-substance insertion and fan-like extension fibers. *Indian J Orthop.* 2022;56:1525-32.
2. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Curr Sports Med Rep.* 2014;13:186-91.
3. Larwa J, Stoy C, Chafetz RS, Boniello M, Franklin C. stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: a systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:3826.
4. Márquez Arabia JJ, Márquez Arabia WH. Lesiones del ligamento cruzado anterior de la rodilla. *IATREIA*, 2009;22, 256–71.
5. Stone AV, Marx S, Conley CW. Management of partial tears of the anterior cruciate ligament: a review of the anatomy, diagnosis, and treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 2021;29:60-70.
6. Zhao GL, Lyu JY, Liu CQ, Wu JG, Xia J, Huang GY. A modified anterior drawer test for anterior cruciate ligament ruptures. *J Orthop Surg Res.* 2021;16:260.
7. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019;33:33-47.
8. Mehran N, Damodar D, Shu Yang J. Quadriceps tendon autograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28:45-52.
9. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2020;28:41-8.
10. Yabroudi MA, Irrgang JJ. Rehabilitation and return to play after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2013;32:165-75.
11. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibbler WB, Kraemer WJ. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:687–708.
12. Lorenz DS, Bailey L, Wilk KE, Mangine RE, Head P, Grindstaff TL, Morrison S. Blood flow restriction training. *J Athl Train.* 2021;56:937-44.
13. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood flow restriction training for athletes: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2021;49:1938-44.
14. Bobes Álvarez C, Issa-Khozouz Santamaría P, Fernández-Matías R, Pecos-Martín D, Achalandabaso-Ochoa A, Fernández-Carnero S, Martínez-Amat A, Gallego-Izquierdo T. Comparison of blood flow restriction training versus non-occlusive training in patients with anterior cruciate ligament reconstruction or knee osteoarthritis: a systematic review. *J Clin Med.* 2020;10:68.
15. Koc BB, Truyens A, Heymans MJLF, Jansen EJP, Schotanus MGM. Effect of low-load blood flow restriction training after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther*. 2022;17:334-46.
16. 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. *Int J Sports Phys Ther*. 2020;15:882-91.
17. Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and postoperative factors influence quadriceps atrophy and strength after acl reconstruction: a systematic review. *Orthop J Sports Med.* 2020;8:2325967120930296.
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altmand DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine.* 2009;151:264-9.
19. Higgins JPT, Altman DG, Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD, *et al*. The cochrane collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2011;343:d5928.
20. Higgins JPT, Green S. Cochrane handbook for systematic reviews of intervention version 5.1.0; *The Cochrane Collaboration:* London, UK, 2011.
21. Van Tulder M, Furlan A, Bombardier C, Bouter L. Updated method guidelines for systematic reviews in the cochrane collaboration back review group. *Spine.* 2003;28:1290-9.
22. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med.* 2020;48:825-37.
23. Jack RA 2nd, 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.* 2023;15:361-71.
24. Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS, Vieira de Melo ME, Cohen M. Comparison of quadriceps and hamstring muscle strength after exercises with and without blood flow restriction following anterior cruciate ligament surgery: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2022;54:jrm00337.
25. 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;49:1787-805.
26. Tramer JS, Khalil LS, Jildeh TR, Abbas MJ, McGee A, Lau MJ, *et al*. Blood flow restriction therapy for 2 weeks prior to anterior cruciate ligament reconstruction did not impact quadriceps strength compared to standard therapy. *Arthroscopy.* 2023;39:373-81.
27. 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 Ther Sport*. 2019;39:90-8.
28. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci.* 2016;5:115-8.

29. 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;74:62-8.
30. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, *et al.* Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001;29:600–13.
31. Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Ross EM. Measures of knee function: international knee documentation committee subjective knee evaluation form, knee injury and osteoarthritis outcome score, knee injury and osteoarthritis outcome score physical function short form. *Arthritis Care Res.* 2011;63:208–28.
32. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR. The reliability, validity, and responsiveness of the lysholm score and tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports Med*. 2009;37:890–7.
33. 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;19:7-11.
34. Noyes FR, Barber-Westin SD, Sipes L. Blood flow restriction training can improve peak torque strength in chronic atrophic postoperative quadriceps and hamstrings Muscles. *Arthroscopy*. 2021;37:2860-9.
35. 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;48:361-78.
36. Bemben MG, Mitcheltree KM, Larson RD, Ross D, Cavazos C, Friedlander B, *et al.* Can blood flow restricted exercise improve ham:quad ratios better than traditional training? *Int J Exerc Sci.* 2019;12:1080-93.
37. Grapar Zargi T, Drobnic M, Jkoder J, Strazar K, Kacin A. The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016;52:310-20.
38. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, *et al.* Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115:2471-80.
39. 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;50:897-905.
40. Bryk FF, Dos Reis AC, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Cury Rde P, *et al.* Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24:1580-6.
41. Korakakis V, Whiteley R, Giakas G. Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2018;34:121-8.
42. 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.
43. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:2035-9.
44. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, *et al.* Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:2903-12.