

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO



**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CON RESTRICCIÓN DEL FLUJO SANGUÍNEO
EN REHABILITACIÓN DE PACIENTES POST ROTURA DE LIGAMENTO
CRUZADO ANTERIOR. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

AUTOR: Albaladejo Pérez, Norberto.

TUTORA: Ivorra Vilaplana, Lorena María.

Departamento de salud pública, historia de
la ciencia y ginecología.

Curso académico 2022-23.

Convocatoria de junio.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	3
3. OBJETIVOS	6
4. MATERIAL Y MÉTODOS	7
5. RESULTADOS	9
6. DISCUSIÓN	11
7. CONCLUSIONES	15
8. BIBLIOGRAFÍA	16
9. ANEXOS	20



RESUMEN

Introducción: La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más prevalentes de la rodilla, y el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFRT) es una técnica actual y novedosa que, combinada con el ejercicio terapéutico, puede ser muy beneficiosa para evitar recaídas y completar una buena recuperación según la evidencia.

Objetivos: Evaluar los efectos que tiene el BFRT en los pacientes postquirúrgicos tras rotura de LCA, así como los niveles de oclusión y el tipo de ejercicios empleados en la rehabilitación.

Material y métodos: Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Pubmed, PEDro, Scopus, Science direct y Cochrane de ensayos clínicos aleatorizados con menos de 5 años de antigüedad en idioma español o inglés.

Resultados: Se encontró un total de 150 artículos, de los cuales 8 cumplían con los criterios de inclusión y exclusión, y 6 de ellos utilizaban el ejercicio de prensa de piernas y un nivel de oclusión del 80% del LOP. Las variables medidas más repetidas son la fuerza, el dolor, la función física de la rodilla y el esfuerzo percibido.

Conclusiones: El uso de BFR en pacientes que se encuentran en rehabilitación postquirúrgica tras rotura del ligamento cruzado anterior utilizando prensa de piernas, produce mejoras principalmente en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales, el dolor, la función física de la rodilla y el esfuerzo percibido, utilizando una oclusión del 80% del LOP.

Palabras clave: “restricción del flujo sanguíneo”, “ligamento cruzado anterior”.

ABSTRACT

Introduction: Anterior cruciate ligament (ACL) rupture is one of the most prevalent knee injuries, and blood flow restriction training (BFRT) is a current and novel technique that, combined with therapeutic exercise, can be very beneficial in preventing relapses and completing a good recovery according to evidence.

Objectives: To evaluate the effects of BFRT in post-surgical patients after ACL rupture, as well as the levels of occlusion and the type of exercises used in rehabilitation.

Material and methods: A literature search was carried out in the Pubmed, PEDro, Scopus, Science direct and Cochrane databases for randomised clinical trials less than 5 years old in Spanish or English.

Results: A total of 150 articles were found, of which 8 met the inclusion and exclusion criteria, and 6 of them used the leg press exercise and an occlusion level of 80% of the LOP. The most repeated measured variables are strength, pain, physical function of the knee and perceived effort.

Conclusions: The use of BFR in patients undergoing post-surgical rehabilitation after anterior cruciate ligament rupture using leg press produces improvements mainly in quadriceps and hamstring strength, pain, physical function of the knee and perceived effort, using an occlusion of 80% of the LOP.

Keywords: "blood flow restriction", "anterior cruciate ligament".

INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es uno de los seis ligamentos de la articulación de la rodilla humana (1) y es una estructura de colágeno intraarticular con una capacidad de cicatrizar limitada que se origina en la cara posteromedial del cóndilo lateral del fémur y cruza anterior y medialmente hasta insertarse en la eminencia intercondilar de la superficie tibial. Además, está innervado por el nervio articular posterior, una rama del nervio tibial (2).

La función de este ligamento es estabilizar la rodilla para así evitar el desplazamiento anteroposterior de la tibia sobre el fémur y también es el principal estabilizador estático contra el movimiento de traslación anterior de la tibia sobre el fémur (3).

El desgarro de este ligamento es común principalmente en deportes y accidentes, y representa más del 50% de todas las lesiones de rodilla (4). Los momentos de desaceleración, corte y los movimientos de rotación que realizan los deportistas, especialmente durante el aterrizaje, son los mecanismos más comunes de ruptura del ligamento cruzado anterior (5), pero el principal mecanismo de lesión en atletas ocurre por un mecanismo sin contacto, aunque puede haber con contacto también como golpe directo en la rodilla, pero es menos común (6).

Las complicaciones que se pueden sufrir tras la cirugía a largo plazo puede ser la inestabilidad crónica de rodilla, desgarro de meniscos u osteoartritis, siendo esta tercera muy frecuente (7). Además, tras la reconstrucción del LCA, menos de un 65% de los deportistas vuelven a practicar su deporte durante el primer año, un 24% cambia de deporte en su segundo año y un 11% se lo dejará al finalizar ese segundo año (8).

En Estados Unidos, cada año se producen más de 120.000 lesiones de LCA, siendo la mayoría en jóvenes de secundaria y universidad (9) y hay una mayor incidencia en deportes que implican contacto deliberado.

Las lesiones de rodilla abarcan un 60% de las cirugías en deporte de secundaria, y de ese 60%, el 50% representa las lesiones del LCA (9). También hay diferencias por sexo y deportes.

En atletas masculinos, el riesgo de lesión de LCA en deportes de colisión (2.10/10.000), contacto limitado (0.71/10.000) sin contacto (0.36/10.000) es similar a las deportistas femeninas con 1.12/10.000 en colisión, 0.26/10.000 en contacto limitado y 0.21/10.000 en deportes sin contacto (10), siendo los mecanismos sin contacto los más habituales en causar lesión de LCA (9).

La mayor diferencia se encuentra en deportes de contacto, donde las atletas femeninas se lesionan más que los masculinos (1.88/10.000 vs 0.87/10.000) y en deportes de aterrizaje rotacional de alto impacto con objetos fijos como la gimnasia rítmica o las carreras de obstáculos, donde también las mujeres sufren más lesiones con diferencia (4.8/10.000 vs 1.75/10.000) (10).

En cuanto a los deportes, las mujeres se lesionan principalmente en los deportes de baloncesto (0.9%) y fútbol (1.1%), mientras que es los hombres son el Fútbol (0.8%) y el Lacrosse (0.4%) los deportes que más riesgo presentan de rotura de LCA. Sabiendo esto, podemos decir que el riesgo de lesión de LCA en secundaria es del 5% al 10%, afectando más a las mujeres (9).

Entre las técnicas que se pueden emplear en la rehabilitación de esta lesión, una muy novedosa y actual es el entrenamiento oclusivo, más conocido como entrenamiento BFRT o blood flow restriction training, que es un tipo de entrenamiento que utiliza un manguito o sistema de torniquete que se coloca circunferencialmente alrededor del extremo proximal de una extremidad inflado entre 110 y 240 mmHg según estudios. Esta técnica se originó en 1970 por el doctor Yoshikai Soto, con el entrenamiento de resistencia Kaatsu, aunque a pesar de ello, los primeros estudios que se encuentran sobre el BFRT son en 1998 (11) por lo que se considera una técnica actual con la que se ha empezado a ensayar hace relativamente poco.

El BFRT se utiliza tanto en deportes orientados al rendimiento como en la rehabilitación de enfermedades musculoesqueléticas, y se recomienda entrenar con una presión de entre el 40% y el 80% de la presión oclusal completa de la extremidad (12). Esto lo conseguimos mediante un torniquete para reducir el flujo sanguíneo arterial y restringir el venoso (13).

Este entrenamiento ha demostrado que puede ser eficaz para producir un aumento de fuerza y masa muscular (14) y, además, hay evidencia que dice que el BFRT puede producir cambios microvasculares, como la neoformación capilar o el engrosamiento de la membrana basal perivascular, y también adaptaciones mitocondriales (15). También hay estudios que han demostrado que el entrenamiento con BFR repara la atrofia muscular, incluida la del músculo femoral tras una reconstrucción del LCA (16) y utiliza mecanismos como el metabolismo anaeróbico, la inflamación celular y la inducción de fibras musculares tipo 2 (17).

En cuanto a los efectos negativos, la blood flow restriction (BFR) causa hipoxia subyacente tanto central como periférica, por lo que no hay un solo origen y hay que distinguir diferentes los umbrales de estas respuestas hipóxicas que produce la BFR en estados fisiológicos. También produce la disfunción de los neurotransmisores, que están relacionados con la fatiga muscular (18).

Actualmente, esta intervención se ha extendido a nivel mundial, tanto a nivel clínico como desde un punto de vista del rendimiento deportivo. En 2018 fue reconocida por la APTA (Asociación Americana de Fisioterapia) como parte de la práctica profesional del fisioterapeuta (19).

El ligamento cruzado anterior, como muestra la evidencia, es muy prevalente entre los jóvenes y deportistas principalmente, y repercute tanto en su vida deportiva como en la diaria a nivel tanto físico como psicológico, por lo que la presente revisión bibliográfica nos puede dar a conocer la efectividad de un tratamiento actual que puede ayudar al abordaje de esta patología.

OBJETIVOS TFG

Objetivo principal → Evaluar los efectos que tiene la terapia con restricción del flujo sanguíneo en pacientes postquirúrgicos de rotura de ligamento cruzado anterior.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar los resultados de la rehabilitación con Blood Flow Restriction (BFR) y sin BFR.
- Determinar cuáles son los niveles de oclusión que se utilizan en los artículos para la rehabilitación.
- Identificar cuál es el tipo de ejercicio que más se utiliza en la rehabilitación postquirúrgica del ligamento cruzado anterior.



MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio ha sido aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche con el COIR para TFG **TFG.GFILMIV.NAP.230110**

Se realizó una búsqueda bibliográfica electrónica desde el día 1 de febrero de 2023 hasta el 15 de abril de 2023, en las siguientes bases de datos: Pubmed, PEDro, Scopus, Cochrane y Science Direct.

La estrategia de búsqueda utilizada en las diferentes bases de datos incluye las siguientes palabras claves: “Blood flow restriction”, “Anterior cruciate ligament”. Los términos se combinaron con el operador “AND” y los filtros empleados fueron: especies “humanos”, tipo de artículo “ensayo clínico”, idioma “español e inglés” y fecha de publicación desde “2019 hasta 2023” ambos incluidos.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Se tendrán en cuenta los artículos cuyo tema principal sea el entrenamiento con restricción de flujo sanguíneo y la lesión que se trate, sea rotura de ligamento cruzado anterior postquirúrgico.
- Artículos publicados en español o inglés, desde 2019 hasta 2023.
- Se seleccionarán aquellos artículos donde se seleccione la técnica con una presión del manguito de entre 20 y 30% de la presión oclusal completa de la extremidad de 1 Repetición Máxima (RM) en BFR o entre 70-80% de la presión oclusal completa de la extremidad 1 RM sin BFR, si se levantan pesos que no sean el peso corporal.
- Estudios que incluyan exclusivamente humanos.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Se excluirán todos los artículos que no sean ensayos clínicos, que no tengan resultados disponibles o con menos de 24 muestras.
- Artículos con una puntuación en la escala PEDro menores a 5.
- Artículos duplicados en otras bases de datos.

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Se realizó una búsqueda electrónica de la literatura científica en las siguientes bases de datos: Pubmed, Cochrane Library, Scopus, PeDro y Science direct, identificándose 219 artículos.

Tras aplicar los filtros de tipo de artículo y año de publicación se obtuvieron 79 artículos publicados entre 2023 y 2019.

A continuación, se llevó a cabo una lectura de títulos y resumen de los mismos, concluyendo que 67 de los 79 no cumplían con los criterios de inclusión y/o estaban repetidos, quedando 12 artículos.

De este modo, se seleccionaron estos 12 artículos para su lectura crítica, de los cuales 4 fueron descartados por no ajustarse a los criterios establecidos tras la lectura a texto completo.

Finalmente, 8 artículos fueron seleccionados para incluirlos en el presente estudio (Figura 1. Diagrama de flujo).



RESULTADOS

Los resultados se encuentran resumidos en las tablas anexas (Tabla 3. Tabla resumen de los artículos seleccionados) de una forma más detallada, donde se puede ver autor, tipo de estudio y población estudiada, la intervención realizada, las mediciones y los resultados.

La edad de los pacientes en los artículos revisados varía entre los 13 y los 59 años, y no hay discriminación entre hombres y mujeres, estando ambos sexos implicados en todos los estudios, habiendo ligeramente más hombres que mujeres.

Los tamaños muestrales fueron de 24 sujetos (20, 21, 25, 26, 27) mientras que los demás artículos constan de 32 sujetos (22), 40 (23) y 34 (24) respectivamente, habiendo una media de 28 participantes.

En el diseño de los estudios, encontramos en todos un grupo de intervención y otro control (con y sin BFR respectivamente), exceptuando uno (24), que está formado por 4 grupos, que son: Concéntrico sin BFR, excéntrico sin BFR, concéntrico con BFR y excéntrico con BFR.

La calidad metodológica de los estudios ha sido medida con la escala PeDro, que tiene 11 ítems y puntúa al estudio del 1 al 10, siendo el primer ítem orientativo. Se considera que una puntuación de 9-10 es una calidad metodológica excelente, entre 6 y 8 buena, entre 5 y 6 regular y por debajo de 4 una mala calidad. Dos artículos de esta revisión tienen una puntuación de 5 (22, 23), 3 artículos tienen una puntuación de 6 (20, 24, 27) y 3 una puntuación de 7 (21, 25, 26) (Tabla 2. Escala PEDro de los artículos). La media de la calidad metodológica de los artículos ha sido de 6.125, considerándose una calidad metodológica buena.

En 4 artículos (21, 23, 24, 27), no hubo enmascaramientos, es decir, no se cegó a ningún participante del estudio. En otros estudios (25, 26), se cegó al evaluador, en uno (22), los médicos fueron cegados a la asignación de grupos, y en otro (20) no se habla del enmascaramiento.

En cuanto a las mediciones de los artículos, fueron muy variadas. Las mediciones que se describen en mayor cantidad son la fuerza muscular (21, 26), la función física de rodilla y el estado funcional subjetivo de rodilla, ambos medidos con el “International Knee Documentation Committee” (IKDC)

(20, 21, 26), el dolor, ya sea muscular o articular (21, 25, 26), o el tamaño o volumen del músculo cuádriceps (24, 27).

Las demás mediciones son menos repetidas son la morfología muscular, el control postural dinámico, el ROM, efusión y laxitud de la articulación de la rodilla (26), fuerza isométrica máxima (21, 24), esfuerzo percibido o dificultad del ejercicio (23, 25), longitud del fémur (27), incomodidad y dificultad del ejercicio y onda cinemática y cinética (23), fuerza isocinética e índice de activación central (24), actividad muscular del cuádriceps, función muscular y equilibrio dinámico (20), la densidad mineral ósea, masa ósea y masa muscular magra (22) (Figura 2. Gráfica de las variables medidas en los artículos).

El nivel de oclusión que se aplica para la rehabilitación es uno de los objetivos para tener en cuenta, y en muchos de los artículos se utiliza la misma presión del manguito, un 80% de la presión de oclusión de la extremidad (LOP), utilizado un 75% de las ocasiones (21, 22, 23, 24, 25, 26) y los demás artículos utilizaron una presión de oclusión del manguito de 40% de la presión arterial sistólica (PAS) (20) y 130-180 mmHg (27) (Figura 3. Gráfico del nivel de oclusión del manguito).

El ejercicio más utilizado en los artículos fue la prensa de piernas, utilizado en un total de 5 artículos y empleada por tanto un 62.5% (21, 22, 24, 25, 26). Los demás ejercicios que se han realizado son paso arriba en caja de 200 mm (23), aumento del ROM, pesas y ejercicio en cadena cinética abierta y cerrada no especificados (20), contracciones isométricas, extensión de piernas y elevaciones con piernas rectas (27) y sentadilla, equilibrio en "Y" y curl de isquiotibiales además de la prensa de piernas (22) (Figura 4. Gráfica del tipo de ejercicio realizado).

Respecto a la duración de la intervención, muchos de los artículos tuvieron una duración de 12 semanas (20-22), con un total de 24 sesiones (21, 22), y 36 sesiones (20). Otros 3 artículos (24-26), duraron 8 semanas, con un total de 16 sesiones. Los dos restantes duraron 16 días (27) y una sola sesión en laboratorio (23). La media de las sesiones empleadas en la rehabilitación ha sido de 18 sesiones.

DISCUSIÓN

Esta revisión tiene como finalidad analizar los efectos que tiene la terapia con restricción del flujo sanguíneo en pacientes postquirúrgicos de rotura de ligamento cruzado anterior a través de la literatura científica obtenida en las bases de datos.

Con BFR, los pacientes refieren una mayor dificultad e incomodidad a la hora de realizar el ejercicio con el manguito puesto (23). Por el contrario, no hubo cambios en la Calificación de Esfuerzo Percibido (RPE) según Lucas Hughes et al (25), por lo que podemos decir que el entrenamiento BFR es en la mayoría de casos beneficioso en la rehabilitación de los pacientes y en otros indiferente en comparación con la rehabilitación sin BFR, observándose mejoras en todos los artículos en al menos una medición, menos en el estudio de Erik Iversen et al (27). Además, aunque los pacientes puedan referir algo de incomodidad al realizar el ejercicio, en 4 de los artículos (21, 22, 25, 26), no hubo efectos adversos tras la utilización del manguito, en 3 de ellos (20, 24, 27), no se menciona ningún efecto negativo aunque no hable de efectos adversos, y solamente en uno (23) menciona una posible fatiga, y no es seguro que esté asociada al manguito de oclusión. Con estos datos podemos afirmar que el BFRT no tiene efectos adversos y por lo tanto se puede utilizar sin problemas, aunque pueda no causar más beneficios que la rehabilitación sin el manguito en ciertas mediciones.

El ejercicio predominante en el entrenamiento ha sido la prensa de piernas, utilizada en muchos de los estudios (21, 22, 24, 25, 26), y solo en tres de ellos no se emplea, por lo que el ejercicio más utilizado en la rehabilitación de LCA podemos decir que es la prensa de piernas, y también el ejercicio que más mejoras y menos incomodidad consiga, pues es un ejercicio sencillo de hacer y muy efectivo, donde se trabaja mucha musculatura y no hay mucho riesgo de lesión, pues podemos evitar compensaciones estando sentados y no hacer la sentadilla en bipedestación con el tronco libre y jugando otros factores como el equilibrio o la propiocepción en fases más tempranas.

En cuanto a la función física o estado subjetivo de la rodilla, variable medida en 3 estudios (20, 21, 26) hay diferencias significativas en los pacientes sometidos a BFRT según varios autores (21, 26), mientras que solo uno (20) no encontró diferencias significativas entre los resultados con y sin BFRT. Estos datos

nos permiten concluir que los pacientes tienen una mejor función general de sus rodillas con el uso de BFRT.

En otros artículos se puede comparar el dolor y la fuerza muscular. El dolor se ha medido con diferentes escalas, como pueden ser la escala de BORG y la “Knee lesion and Osteoarthritis Outcome Score” (KOOS), y en varios estudios hay una disminución del dolor (21, 26) debido a que el alto nivel de isquemia y el dolor muscular inducido por el manguito de BFR pueden contribuir a una respuesta antinoceptiva, además de que la hipoxia favorece la liberación de opioides endógenos y endocannabinoides, según Lucas Hughes (25). También el mismo autor en otro estudio (26), sugiere que el dolor puede atribuirse a que con BFRT se utilizan cargas más ligeras (30% 1RM), mientras que sin BFR se emplean cargas más pesadas (70% 1RM), y que esta disminución del dolor lleva consigo una mejora de la función física, de la calidad de vida y del ROM (20, 22). Solo en un artículo (25) los resultados indican una disminución del dolor de la rodilla post entreno, pero un aumento en el dolor muscular medio con BFRT, el cual él mismo menciona que es un dolor tolerable por los pacientes, por lo que podemos concluir que el BFRT sí disminuye el dolor.

En la fuerza del cuádriceps e isquiotibiales también hubo diferencias significativas (21) que demuestran que hay un aumento en la fuerza de ambos músculos, mientras que en el estudio de Lucas Hughes (26), no hubo diferencias significativas. Este aumento de la fuerza y crecimiento muscular con BFRT se produce al reducir el suministro de oxígeno al músculo, induciendo a la hipoxia y liberando factores de crecimiento, como lo son el estrés metabólico y la acumulación de sustancias en el ambiente, que son responsables de un aumento en la secreción de la hormona de crecimiento (HC). Este proceso induce también a un aumento de la secreción de la insulina, responsable de la síntesis de proteínas, que aumentan el trofismo muscular, el área transversal y la fuerza (21). Los ejercicios de resistencia a su vez aumentan el efecto hipoalgésico que produce el BFRT (25).

Hubo resultados favorables en la mejora de fuerza isométrica de cuádriceps, pero sobretodo de isquiotibiales, debido a la mayor inhibición del músculo artrogénico del cuádriceps, según Francisco Vieira de Melo (21). En este estudio, también menciona que el aumento de fuerza en un menor período de tiempo con respecto al entrenamiento sin BFR, se debe a la menor carga que utilizan los pacientes

que sí que lo utilizan. A su vez, Michael T Curran (24), emplea alta intensidad en los ejercicios propuestos, lo que hace que no haya diferencias significativas ni en la fuerza isométrica ni isocinética, llegando a la conclusión de que el ejercicio excéntrico entrenado con cargas comparables no es superior al concéntrico, por lo que, para lograr los beneficios del entrenamiento excéntrico, debemos entrenar con cargas más altas que con ejercicios concéntricos (24).

El tamaño del cuádriceps no varía significativamente con BFRT (24, 27), y la ganancia del rango de flexión tiene relación con el tiempo de tratamiento, por lo que a medida que pasa el tiempo, va aumentando más el rango de flexión. En el rango de extensión no se encontraron diferencias significativas (26).

El resto de las mediciones solo aparecen en una ocasión, por lo que no se puede hacer comparación, y no se pueden sacar unas conclusiones claras. En un artículo se midió la laxitud articular de la rodilla, control postural dinámico, y efusión (26), y en todas hubo mejoras. Se comprobó un aumento de grado 2 en rotación externa de tibia y de grado 4 en rotación interna de cadera, junto a una reducción en el momento de extensión y rotación interna de la cadera (23), cambios en el índice de activación central (CAR) (24), añadido a una mejora en la actividad muscular del cuádriceps, afirmando una mejora en la contracción isométrica de cuádriceps, mejoras en la función muscular isocinética en cuanto a un aumento significativo del torque máximo y trabajo total con BFR y una mejora en el equilibrio dinámico (20). Finalmente, Robert Jack et al, indica que el BFRT es beneficioso para la densidad mineral ósea, masa ósea y masa muscular magra de las extremidades inferiores (LE-LM) (22). Todas las mediciones fueron favorables con la utilización del manguito de oclusión, que parece ser que sí aporta beneficios al ejercicio de rehabilitación de la rodilla y del LCA.

Solo en la morfología muscular (26) y la longitud del fémur (27), no hubo diferencias significativas.

La presión de oclusión de la extremidad, Limb Occlusion Pressure, o “LOP”, se conoce como la mínima presión que se necesita para la oclusión arterial completa. Uno de los objetivos de esta búsqueda es comparar los niveles de oclusión utilizados en los estudios. El nivel de oclusión más utilizado con diferencia, un total de 6 veces (21, 22, 23, 24, 25, 26), fue el 80% del LOP, y solo uno se midió a un

40% de la presión arterial sistólica (PAS) (20) y uno entre 130 y 180 mmHg (27). Esta comparación puede verse de manera gráfica en la figura 3 (Figura 3. Gráfico del nivel de oclusión del manguito).

Analizando estos datos comentados, podemos decir que el nivel óptimo de oclusión del manguito de BFRT debe ser el 80% del LOP de cada paciente de forma individual.

Por lo tanto, la terapia con restricción del flujo sanguíneo en pacientes postquirúrgicos de rotura de ligamento cruzado anterior es una modalidad terapéutica que muestra mejoras en los resultados funcionales más que en los pacientes que se someten a una rehabilitación convencional sin la terapia BFR. El nivel de oclusión más utilizado es el 80% del LOP, el ejercicio que se realiza en la rehabilitación es la prensa de piernas y esto mejora el dolor, la fuerza muscular de cuádriceps e isquiotibiales, el ROM, la laxitud articular de la rodilla, el control postural dinámico, la efusión, el índice de activación central, la función muscular, el equilibrio dinámico y la densidad mineral ósea.

LIMITACIONES

Entre las limitaciones que encontramos en esta revisión, una de ellas es el enmascaramiento, el cual no se pudo llevar a cabo en los pacientes en prácticamente ninguno de los casos ya que al tener que colocar el manguito en los pacientes con BFRT ya sabían a qué grupo pertenecían y pueden verse condicionados los resultados, porque los pacientes sabían a qué grupo pertenecían, al igual que los integrantes de los ensayos.

También hay una limitación en algunas de las variables medidas, ya que algunas de ellas solo se han medido en uno de los artículos de la revisión solo, por lo que no se ha podido comparar con otros estudios, y hay una falta de información y mayor dificultad a la hora de extraer unas conclusiones claras.

CONCLUSIONES

El uso de BFR en pacientes que se encuentran en rehabilitación postquirúrgica tras rotura del ligamento cruzado anterior produce mejoras principalmente en fuerza de cuádriceps e isquiotibiales, el dolor, la función física de rodilla y el esfuerzo percibido, más que en los pacientes que no utilizan BFR.

Según la evidencia, el nivel de oclusión óptimo del manguito es de un 80% del Limb Occlusion Pressure (LOP)

El ejercicio más utilizado en la rehabilitación postquirúrgica después de la rotura del ligamento cruzado anterior es la prensa de piernas.



BIBLIOGRAFÍA

1. Marieswaran M, Jain I, Garg B, Sharma V, Kalyanasundaram D. A review on biomechanics of anterior cruciate ligament and materials for reconstruction. *Appl Bionics Biomech.* 2018;2018:1–14.
2. Sepúlveda F, Sánchez L, Amy E, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: Return to play, function and long-term considerations. *Curr Sports Med Rep.* 2017;16(3):172–8.
3. Markatos K, Kaseta MK, Lалlos SN, Korres DS, Efstathopoulos N. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013;23(7):747–52.
4. 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(7):3826.
5. Peterson JR, Krabak BJ. Anterior cruciate ligament injury: mechanisms of injury and strategies for injury prevention. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014;25(4):813–28.
6. Wellsandt E, Kallman T, Golightly Y, Podsiadlo D, Dudley A, Vas S, et al. Knee joint unloading and daily physical activity associate with cartilage T2 relaxation times 1 month after ACL injury. *J Orthop Res.* 2022;40(1):138–49.
7. 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(3):186–91.

8. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med.* 2017;36(1):1–8.
9. Montalvo AM, Schneider DK, Webster KE, Yut L, Galloway MT, Heidt RS Jr, et al. Anterior cruciate ligament injury risk in sport: A systematic review and meta-analysis of injury incidence by sex and sport classification. *J Athl Train.* 2019;54(5):472–82.
10. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood flow restriction training for athletes: A systematic review. *Am J Sports Med.* 2021;49(7):1938–44.
11. Tegtbur U, Haufe S, Busse MW. Application and effects of blood flow restriction training. *Unfallchirurg.* 2020;123(3):170–5.
12. Pignanelli C, Christiansen D, Burr JF. Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *J Appl Physiol.* 2021;130(4):1163–70.
13. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res.* 2013;27(10):2914–26.
14. 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.
15. Saatmann N, Zaharia O-P, Loenneke JP, Roden M, Pesta DH. Effects of blood flow restriction exercise and possible applications in type 2 diabetes. *Trends Endocrinol Metab.* 2021;32(2):106–17

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(6):882–91.
17. Vopat BG, Vopat LM, Bechtold MM, Hodge KA. Blood flow restriction therapy: Where we are and where we are going. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(12):e493–500.
18. Shen L, Li J, Chen Y, Lu Z, Lyu W. L-carnitine's role in KAATSU training- induced neuromuscular fatigue. *Biomed Pharmacother.* 2020;125(109899):109899.
19. Bennett H, Slattery F. Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: A systematic review: A systematic review. *J Strength Cond Res.* 2019;33(2):572–83.
20. Jung W-S, Kim S-H, Nam S-S, Kim J-W, Moon H-W. Effects of rehabilitation exercise with blood flow restriction after anterior cruciate ligament reconstruction. *Appl Sci (Basel).* 2022;12(23):12058.
21. Vieira de Melo RF, Komatsu WR, Freitas MS de, 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.
22. 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.* 2022;19417381221101010.

23. Telfer S, Calhoun J, Bigham JJ, Mand S, Gellert JM, Hagen MS, et al. Biomechanical effects of blood flow restriction training after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 2021;53(1):115–23.
24. 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(4):825–37.
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(11):1787–805.
26. 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.
27. 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.

ANEXOS

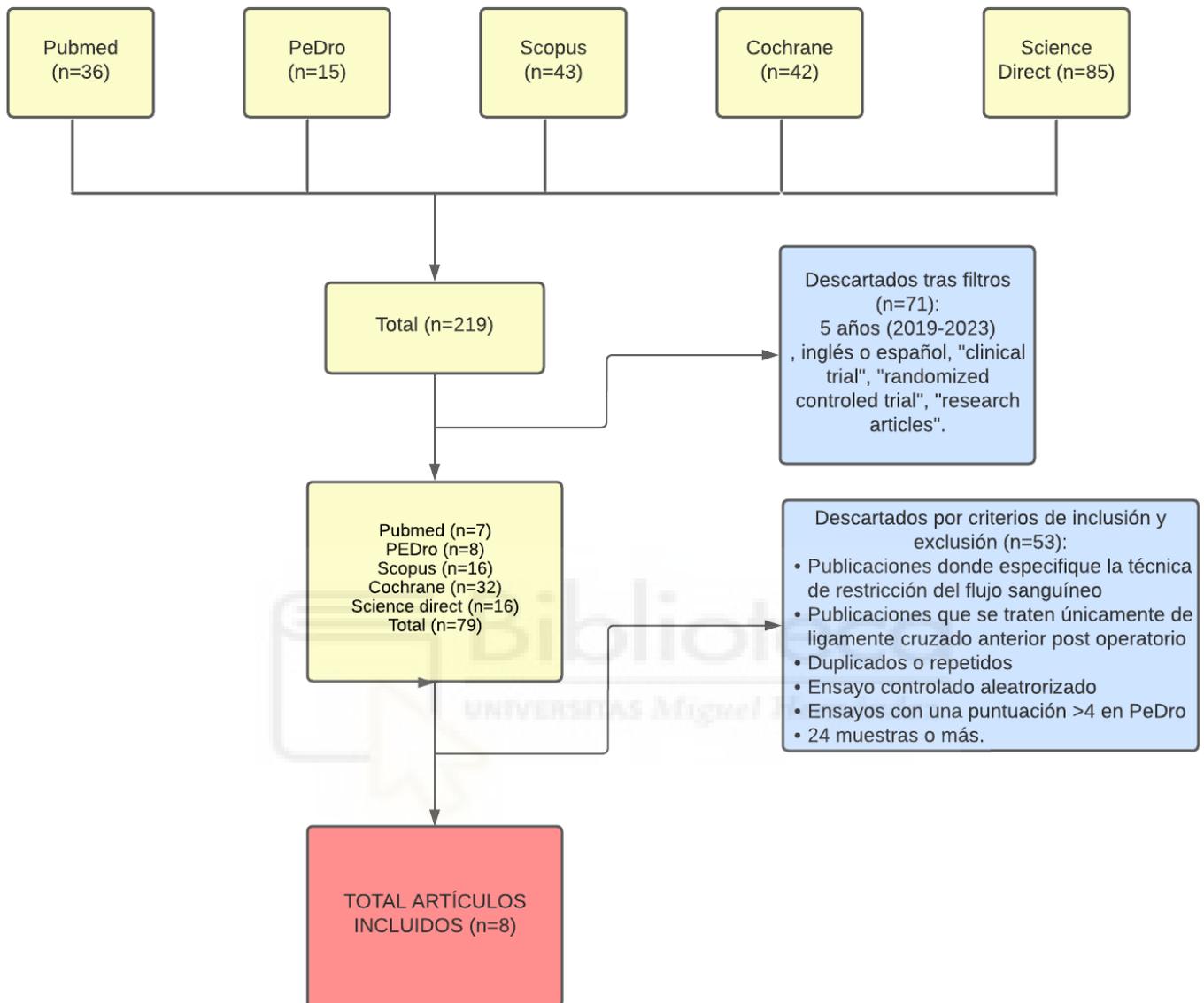
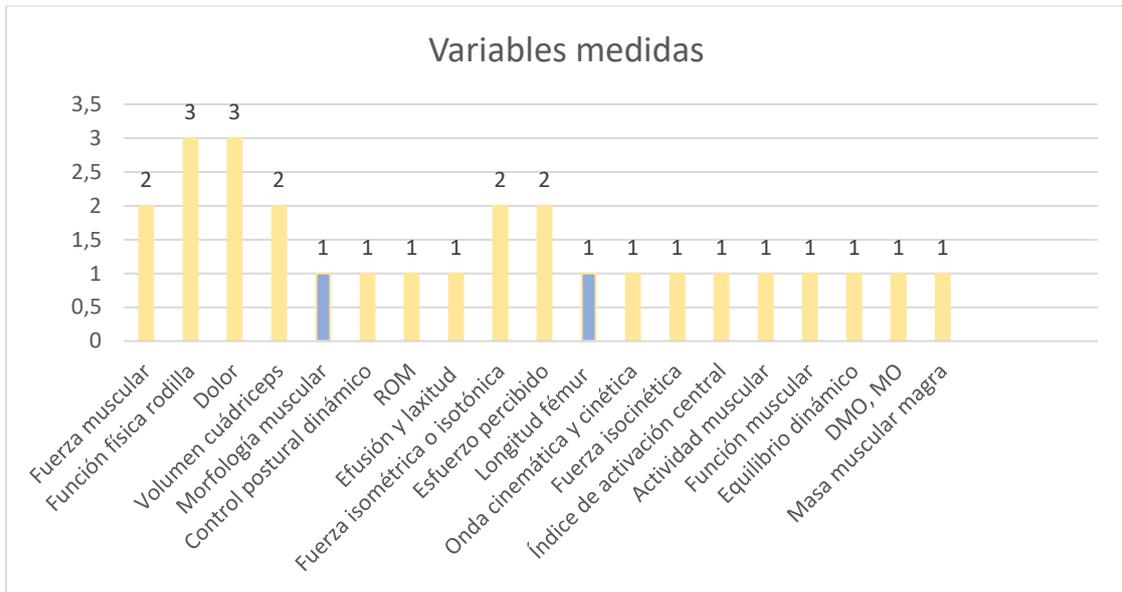


Figura 1: Diagrama de flujo.



*En azul se muestran las mediciones donde no hubo mejoras significativas con BFRT.

Figura 2: Gráfica de las variables medidas en los artículos.

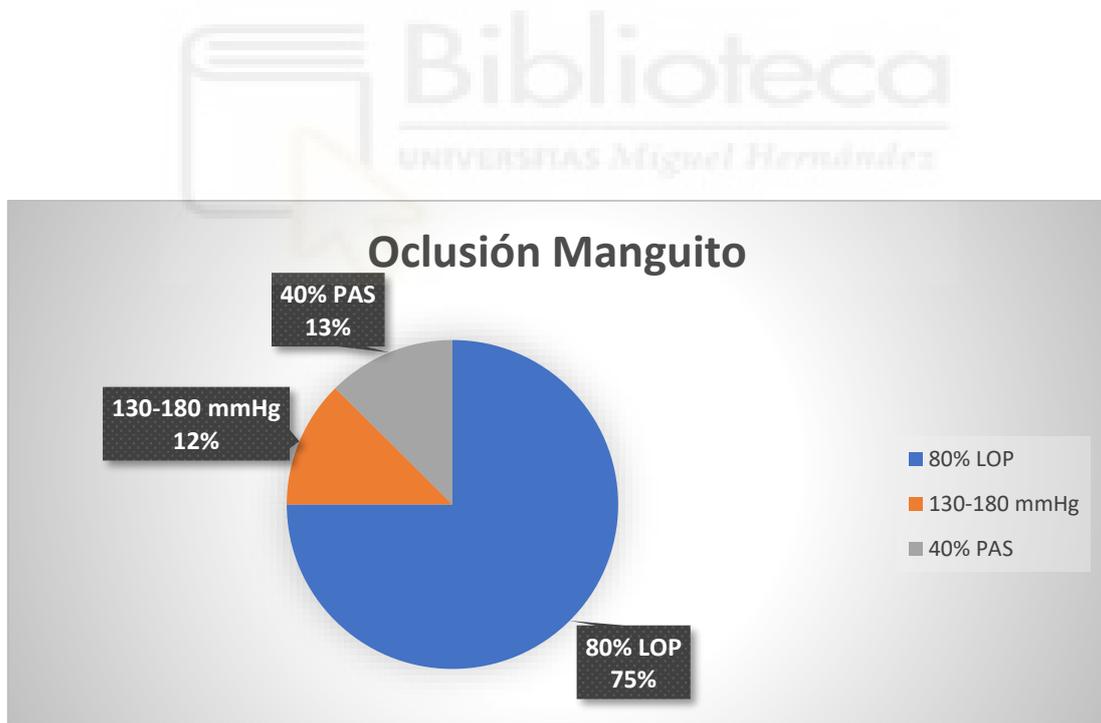


Figura 3: Gráfico del nivel de oclusión del manguito.



Figura 4: Gráfica del tipo de ejercicio realizado.



Tabla 1: Significados de las siglas empleadas.

SIGLAS	SIGNIFICADO
BFR	Restricción del flujo sanguíneo
BFRT	Entrenamiento por restricción del flujo sanguíneo
LCA	Ligamento cruzado anterior
RM	Repetición máxima
LOP	Presión de oclusión de extremidades
ROM	Rango de movimiento
PAS	Presión arterial sistólica
DMO	Densidad mineral ósea
MO	Masa ósea
EVA	Escala visual analógica del dolor

Tabla 2: Escala PEDro de los artículos.

ARTÍCULO Y AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Won-Sang Jung, diciembre 2022	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	6
Rafael Francisco Vieira de Melo et al, noviembre 2022	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	7
Robert A Jack 2nd et al, junio 2022	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	5
Scott Tefler et al, 2021	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
Michael T Curran et al, marzo 2020	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	6
Lucas Hughes et al I, noviembre 2019	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	7
Lucas Hughes et al II, septiembre 2019	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	7
Erik Iversen et al, marzo 2016	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	6

Tabla 3: Tablas resumen de los artículos seleccionados.

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Won-Sang Jung, et al. Diciembre 2022	N = 24 participantes hombres y mujeres.	<p>Ensayo clínico</p> <p>2 brazos: Grupo BFR (n=13) 9 hombres, 3 mujeres</p> <p>Grupo de rehabilitación general (GRE) n=13 9 hombres, 3 mujeres.</p> <p>Según sexo, altura y peso.</p> <p>Las mediciones se hicieron 1 día antes de la reconstrucción del LCA (prueba previa) y 2 días después de del último programa de ejercicios</p>	<p>Ejercicios para mejorar ROM primero, seguido de pesas, CCA y CCC (cadenas cinéticas abierta y cerrada)</p> <p>A partir de la semana 3 se recomiendan aparatos ortopédicos hasta la semana 12. 3 sesiones a la semana de 60 minutos durante 12 semanas.</p>	<p>Altura y peso</p> <p>Estado funcional subjetivo de rodilla</p> <p>Actividad muscular cuádriceps</p> <p>Función muscular isocinética cuádriceps e isquios</p> <p>Capacidad de equilibrio dinámico</p>	<p>Antropometría</p> <p>IKDC y puntaje de Lysholm</p> <p>Electromiografía de superficie (EMG)</p> <p>Dinamómetro isocinético</p> <p>Prueba de equilibrio Y</p>	<p>No hubo diferencias significativas entre grupos de las puntuaciones Lysholm y IKDC.</p> <p>Aumento significativo del vasto medial oblicuo (VMO) y recto femoral (RF) durante contracción isométrica en BFR</p> <p>En cuanto a función muscular isocinética, hubo un aumento significativo del torque máximo y trabajo total en BFR.</p> <p>En la prueba de equilibrio, balance “Y” anterior aumenta en BFR y el posterior y lateral en ambos grupos.</p>

Autor y año	Participantes antes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Rafael Francisco Vieira de Melo et al. Noviembre 2022	N=24 Hombres y mujeres entre 18 y 59 años.	Ensayo clínico aleatorizado. 2 brazos: Con BFR (n=12) 9 hombres, 3 mujeres Sin BFR (n=12) 8 hombres, 4 mujeres. Mediciones : primer día de entreno y primer y último día de entreno de las semanas 4, 8 y 12	Prensa de piernas, 30% de 1RM con BFR, 1x30 repeticiones y 3x15 repeticiones, con 2 s de contracción concéntrica y 2 de excéntrica y 70% grupo de control (sin BFR), 3x10 repeticiones, 2 veces por semana durante 12 semanas (24 sesiones)	Fuerza muscular Fuerza isométrica máxima de flexión y extensión de rodilla. Función física de rodilla. Dolor.	Dinamómetro isométrico Dinamómetro isométrico digital de mano Cuestionarios Lysholm, International Knee Documentation Committee (IKDC) Knee lesion and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)	Mayor diferencia de mejora en la fuerza muscular de cuádriceps tras 12 semanas con BFR (p<0,01) Diferencias significativas en el cuestionario KOOS en el subtema dolor (p<0,01) y también mejoras significativas en actividades diarias y calidad de vida con BFR a las 12 semanas. Mejora significativa en la fuerza muscular de isquiotibiales con BFR tras 12 semanas.

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Robert Jack et al. Junio 2022	N= 32 Hombres y mujeres entre 16 y 39 años.	<p>Ensayo clínico controlado aleatorizado</p> <p>2 brazos: CONTROL sin BFR (n=15) 7 hombres, 8 mujeres</p> <p>BFR (n=17) 12 hombres, 5 mujeres.</p> <p>Mediciones a las 6 y 12 semanas.</p>	<p>12 semanas, 2 veces por semana.</p> <p>Oclusión de 80% en grupo BFR.</p> <p>Los ejercicios se realizaron en 4 series de 30-15-15-15 con 30 segundos de descanso entre series.</p>	<p>Densidad mineral ósea, masa ósea y masa muscular magra de extremidades inferiores (LE-LM)</p>	<p>Absorciometría de rayos X (DEXA)</p>	<p>Solo el grupo Control sufrió disminución de la masa ósea del OI y fémur a las 6 y 12 semanas en relación con el preoperatorio.</p> <p>Disminución de la masa ósea del fémur a la semana 12 solo en grupo BFR.</p> <p>Pérdida de DMO alrededor de la rodilla se atenuó en el grupo BFR.</p> <p>Disminuciones en LE-LM después de las semanas 6 y 12 en el grupo control y cambio en el LM total a la semana 6 en el grupo control.</p> <p>Disminución LM de muslo y glúteo en las semanas 6 y 12 en muslo y 6 en glúteo.</p> <p>Mejoría significativa en las medidas funcionales entre las 8 y 12 semanas en grupo BFR.</p>

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Scott Tefler et al. 2021	N = 40 pacientes en total, hombres y mujeres entre 19 y 50 años.	<p>Ensayo clínico aleatorizado.</p> <p>2 brazos: Brazo 1 (n=20) 12 mujeres 8 hombres, con ACLR.</p> <p>Control (n=20) 11 mujeres 9 hombres, sin ACLR.</p> <p>Mediciones realizadas dentro de una sola sesión.</p>	Ejercicio de paso hacia arriba (step-up) en una caja de 200 mm realizado a una velocidad de aproximadamente un ciclo completo de pasos cada 4s. 30 repeticiones con un descanso de 30 segundos y luego 3 series de 15 step-ups, cada una separado por 30s de pie.	<p>Incomodidad y dificultad del ejercicio</p> <p>Onda cinemática y cinética</p>	<p>Escala Análoga numérica.</p> <p>Visual 3D (C-Motion inc, Germain, MAMÁ)</p>	<p>No hubo diferencias significativas entre grupos en cuanto a variables cinemáticas en la rodilla ni en la cadera.</p> <p>Aumento significativo de 2º en la rotación externa de la tibia tanto para los grupos sanos como ACLR con BFR y aumento de 4º de rot int de cadera en fase de descenso para grupo ACLR con BFR.</p> <p>Reducción del momento de extensión en los grupos ACLR con BFR (70%) y sin BFR (50%)</p> <p>Los sujetos sanos tuvieron mayor momento de extensión de rodilla durante las fases de subida y bajada, y también se redujo el momento de rot int. En sanos también hubo un aumento del momento de flexión al subir, disminución del momento de varo al subir y aumento de la rotación interna.</p> <p>Mayor dificultad calificada por los pacientes cuando usan BFR y mayor nivel de incomodidad también cuando usan BFR.</p>

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Michael T. Curran et al. Marzo 2020	34 participantes 19 mujeres, 15 hombres entre 14 y 30 años de edad.	Ensayo clínico aleatorizado. 4 brazos: Concéntrico (n=8), excéntrico (n=8), concéntrico con BFRT (n=9), excéntrico con BFRT (n=9) Mediciones antes de la intervención, después y al volver a la actividad	Prensa de piernas, 15 repeticiones con una sola pierna con una carga igual al 100 % del peso corporal, concéntricos con BFRT y al 20% de 1 RM excéntricos con BFRT. Y 70% de 1 RM intensidad excéntrica sin BFRT y 20% de 1 RM concéntrica sin BFRT. 2 sesiones por semana durante 8 semanas (16 sesiones totales)	Fuerza isométrica e isocinética del cuádriceps desde el preoperatorio al tratamiento. Volumen recto femoral CAR (índice de activación central)	Dinamómetro Biodex Ststem 3 Ultrasonido Musculoesquelético IKDC (comité Internacional de Documentación de la Rodilla)	Pacientes del grupo excéntrico eran mayores que los otros 3 grupos ($p < 0,05$) Un tamaño del efecto pequeño para BFRT en el cambio en el volumen del músculo recto femoral desde el preoperatorio hasta el postintervención Se observó un tamaño del efecto moderado para BFRT en el cambio en el CAR desde el preoperatorio hasta el RTA (regreso a la actividad). No hubo diferencias significativas entre grupos en los demás apartados.

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Lucas Hughes et al. Noviembre 2019	N=24 Hombres y mujeres.	Ensayo clínico aleatorizado 2 brazos: BFR-RT (n=12) 7 hombres, 5 mujeres. HL-RT (n=12) 10 hombres, 2 mujeres. 3 mediciones : pretratamiento, a mitad del tto y post tratamiento.	Entrada en calor de 5 minutos de ciclismo, y después 10 repeticiones de ejercicio de prensa de piernas unilateral. BFR-RT: 4 series de 30,15,15 y 15 repeticiones HL-RT: 3 series de 10 repeticiones. 8 semanas de entrenamiento de piernas unilateral 2 veces por semana con una separación de 48hs (16 sesiones)	Fuerza muscular y fuerza isocinética Morfología muscular Función física Control postural dinámico Dolor ROM Efusión Laxitud de la articulación de la rodilla	Dinamómetro isocinético Ultrasonografía en modo B Escala de rodilla con cuadros de Likert Prueba del equilibrio de excursión en estrella modificada (SEBT) Escala del dolor Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Goniómetro Cinta métrica flexible Artrómetro de ligamentos de rodilla	No hubo diferencias significativas en la mejora de fuerza muscular de 10RM, ni en la fuerza isocinética escalada, ni en la morfología muscular. Diferencias significativas en la laxitud de lado a lado con BFR-RT Mejora de la función física con BFR-RT, mayores puntajes de SEBT modificada en pierna lesionada después de las 8 semanas (en la no lesionada sin diferencias entre grupos) Mayor puntuación de KOOS con BFR-RT durante las 8 semanas de entrenamiento. Diferencias significativas en la interacción grupo por tiempo para la diferencia de flexo extensión y la diferencia del ROM y disminuciones significativas durante 8 semanas de entrenamiento en la diferencia de FE y la diferencia de ROM con BFRT. Disminución de circunferencia de la rótula media con BFR-RT durante las 8 semanas de entreno.

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Lucas Hughes et al. 28 de septiembre de 2019	N = 24 pacientes masculinos y femeninos entre 22 y 36 años.	<p>Ensayo clínico aleatorio de grupo paralelo.</p> <p>Brazo 1: BFR-RT (n=12) ´ 7 hombres, 5 mujeres.</p> <p>Brazo 2: HL-RT (n=12) 10 hombres, 2 mujeres.</p> <p>Mediciones al finalizar las 8 semanas y el dolor de rodilla también 24 hs después de cada entrenamiento.</p>	<p>5 minutos de ciclismo + 10 repeticiones de prensa unilateral con peso autoseleccionado + 5 minutos de descanso</p> <p>BFR-RT → 4 series prensa (la primera 30 reps y las siguientes 3 a 15) con 30 segundos de descanso al 30% de 1RM y 90º ROM</p> <p>HL-RT: 3 series de 10 repeticiones de prensa unilateral con 30 segundos de descanso al 70% 1RM y 90º ROM</p> <p>Se hizo un entrenamiento de 8 semanas 16 sesiones por un mínimo de 48hs</p>	<p>Esfuerzo percibido</p> <p>Dolor muscular</p> <p>Dolor articular de rodilla</p>	<p>RPE (Calificación de esfuerzo percibido)</p> <p>BORG'S</p> <p>Escalas de dolor</p>	<p>El dolor de rodilla fue menor con BFR-RT después de cada sesión y a las 24 hs post-entreno y el dolor muscular medio fue mayor con BFR-RT</p> <p>El RPE se mantuvo sin cambios para ambos</p>

Autor y año	Participantes	Diseño	Intervención	Dimensiones estudiadas	Instrumentos de medida	Resultados
Erik Iversen, Vibeke Rostad, Arne Larmo. Marzo 2016	N = 24 pacientes, entre 18 y 40 años.	<p>Ensayo clínico aleatorizado.</p> <p>Dos brazos:</p> <p>Brazo 1 grupo de oclusión (n=12) 7 hombres, 5 mujeres.</p> <p>Brazo 2 grupo control (n=12) 7 hombres y 5 mujeres.</p> <p>Mediciones: 2 días antes y 16 días después de cirugía.</p>	<p>Contracciones isométricas de cuádriceps, progresando a extensión de las piernas sobre un giro de rodillas y elevaciones de las piernas rectas. 20 repeticiones durante los 5 minutos que dura la oclusión, llegando a las 200 repeticiones por día (100 repeticiones por sesión de entreno)</p>	<p>Longitud del fémur</p> <p>ACSA del cuádriceps para medir el cambio de tamaño del músculo.</p>	<p>Sectra PACS</p> <p>RM eco de spin ponderada (Toshiba Excelart Vantage Atlas)</p>	<p>2 días antes de las cirugías, no hubo diferencias significativas entre los grupos de cuádriceps ACSA.</p> <p>Entre los 2 días a los 16 después de la cirugía, hubo una reducción estadísticamente significativa en el ACSA del cuádriceps en ambos grupos ($p < 0,0001$).</p> <p>No hubo diferencia significativa en la pérdida de ACSA del cuádriceps entre los grupos después del período de intervención ($P = 0,6265$).</p> <p>No hubo diferencias significativas entre hombres y mujeres en ambos grupos.</p>