

ANÁLISIS DE LA EFICACIA DEL USO DE LA TERAPIA  
OCLUSIVA COMBINADA AL EJERCICIO TERAPEUTICO  
EN LESIONES DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.  
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Thomas CAZES y Rémi ROSANO

Trabajo Final De Grado



**Universidad  
Europea**

FACULTAD DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

VALENCIA

CURSO 2020-2021

ANÁLISIS DE LA EFICACIA DEL USO DE LA TERAPIA  
OCLUSIVA COMBINADA AL EJERCICIO TERAPEUTICO  
EN LESIONES DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.  
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Thomas CAZES y Rémi ROSANO

TRABAJO FINAL DE GRADO

TUTOR DEL TRABAJO:

JAVIER DELGADO SORLI

FACULTAD DE FISIOTERAPIA

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

VALENCIA

CURSO 2020-2022

# Índice

Índice de tablas.....	1
Índice de abreviaciones.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.....	4
1.1.1 ANATOMÍA.....	4
1.1.2 BIOMECÁNICA.....	6
1.1.3 EPIDEMIOLOGÍA.....	6
1.1.4 MECANISMO DE LESIÓN.....	6
1.1.5 SÍNTOMAS Y EXPLORACIÓN ORTOPEDICA.....	7
1.1.6 TRATAMIENTOS.....	8
1.2 BFR.....	9
1.2.1 APLICACIÓN.....	11
1.2.2 MODALIDADES.....	12
1.3 FISIOLÓGÍA MUSCULAR.....	14
2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo principal.....	18
2.2 Objetivos secundarios.....	18
2.3 Hipótesis.....	18
3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	18
3.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA.....	18
3.2 CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD.....	18
3.3 CALIDAD DEL ESTUDIO.....	19
4 RESULTADOS.....	22
4.1 TABLA RESUMEN DE LOS ARTÍCULOS.....	22
4.2 TABLA DE VARIABLES.....	25
4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ARTÍCULOS.....	33
5 DISCUSIÓN.....	36
5.1 LIMITACIONES.....	40
6 CONCLUSIÓN.....	40
7 BIBLIOGRAFÍA.....	41
8 ANEXOS.....	44

## Índice de figuras

Figura 1. Corresponde a la anatomía del ligamento cruzado anterior .....	4
Figura 2. Corresponde a la arteria genicular medial .....	5
Figura 3. Corresponde al mecanismo de lesión del LCA .....	7
Figura 4: Corresponde a la prueba de Lanchman y pivot shift test .....	8
Figura 5: Corresponde a los autoinjertos .....	9
Figura 6. Corresponde al dispositivo de oclusión Kaatsu master.....	10
Figura 7. Corresponde a un entrenamiento oclusivo .....	11
Figura 8. Corresponde al esquema de la contribución del estrés mecánico y metabólico en la hipertrofia .....	17
Figura 9: Corresponde a los procesos de investigación en Pubmed. Línea 1: Palabras claves. Línea 2: Filtros utilizados. Línea 3: Criterios de inclusión y exclusión .....	19
Figura 10: Corresponde a los procesos de investigación en EBSCO. Línea 1: Palabras claves. Línea 2: Filtros utilizados. Línea 3: Criterios de inclusión y exclusión.....	20

## Índice de tablas

Tabla 1 : Coresponde a la valoración de los artículos según la escala PEDro .....	21
Tabla 2 : Corresponde a la tabla resumen de los artículos.....	22
Tabla 3: Corresponde a la definición de las variables de los artículos. ....	25

## Índice de abreviaciones

**ACL**R = *anterior cruciate ligament reconstruction*

**ACSA** = Área de la sección transversal

**AOP** = presión de oclusión arterial

**BFR** = *blood flow restriction*

**BFR-RE** = *blood flow restriction* en el ejercicio de resistencia

**BFR-RT**= *blood flow restriction – resistance training*

**HL-RT** = *high load resistance training*

**CSA**= área sección cuádriceps

**DMO** = densidad mineral ósea

**LCA** = ligamento cruzado anterior

**LM** = *lean mass*

**LOP** = *Limb oclusión presión*

**RM** = repetición máxima

**ROM** = *range of motion*

**RPE**= calificación del esfuerzo percibido

**SHAM-BFR** = BFR simulado

**AMB**= Anteromedial Bundle

**PLB**= Posterolateral Bundl

## Abstract

**Introduction:** Anterior cruciate ligament injury is a common pathology and one of the main injuries in sport. Its injury and operation entail many deficiencies, especially at the muscular level, which is the main focus of rehabilitation. High intensity training is often one of the most used modalities, but it can have adverse effects on the joint. Therefore, occlusive training, or Blood Flow Restriction (BFR), emerges as an alternative to classical rehabilitation through its low intensity protocol.

**Objectives:** Our aim is to compare the efficacy of a classical rehabilitation exercise versus exercise combined with BFR.

**Methodology:** A literature review was carried out using the Pubmed and EBSCO databases.

**Results:** After the search, the comparative study includes 9 articles that are Randomised Controlled Trials (RCT). The studies have demonstrated superior strength and hypertrophy improvement with BFR compared to protocols of the same intensity without BFR. Similar results were also reported in comparison to high intensity training.

**Conclusion:** The BFR allows muscle gains equal or even superior to classical training within the rehabilitation of the anterior cruciate ligament, but the key point of this modality lies in the reduction of mechanical stress through low intensities.

*Key Words: Anterior cruciate ligament, anterior cruciate ligament reconstruction, Blood Flow Restriction, rehabilitation.*

## Resumen

**Introducción:** La lesión del ligamento cruzado anterior es una patología bastante común y una de las principales lesiones en el deporte. Su lesión y operación conllevan muchas deficiencias sobre todo a nivel muscular que es el punto central de la rehabilitación. El entrenamiento de alta intensidad suele ser una de las modalidades más utilizadas pero puede tener efectos adversos a nivel de la articulación. Por lo tanto, el entrenamiento oclusivo, o Blood Flow Restriction (BFR), surge como una alternativa a la rehabilitación clásica mediante su protocolo de baja intensidad.

**Objetivos:** Nuestra meta es de comparar la eficacia de un ejercicio de rehabilitación clásico frente a ejercicio combinado con BFR.

**Metodología:** Se realizó una revisión bibliográfica a través de las bases de datos Pubmed y EBSCO.

**Resultados:** Tras la búsqueda, el estudio comparativo incluye 9 artículos que son *Randomised Controlled Trials* (RCT). Los estudios han demostrado una mejoría de la fuerza y de la hipertrofia superiores con el BFR frente a protocolos de misma intensidad sin BFR. Se destacó también resultados similares frente a entrenamientos de alta intensidad.

**Conclusión:** El BFR permite obtener ganancias musculares iguales o incluso superiores a los entrenamientos clásicos dentro de la rehabilitación del ligamento cruzado anterior pero el punto clave de esta modalidad se encuentra en la reducción del estrés mecánico mediante intensidades bajas.

Palabras clave: *Anterior cruciate ligament, anterior cruciate ligament reconstruction, Blood Flow Restriction, rehabilitation.*

# 1 INTRODUCCIÓN

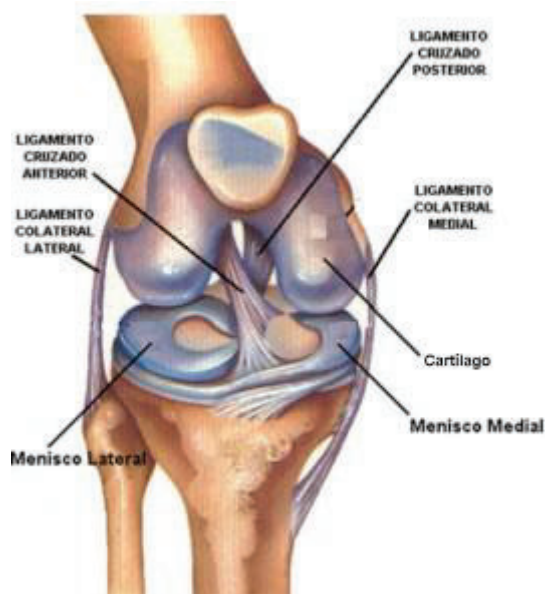
## 1.1 LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

### 1.1.1 ANATOMÍA

El ligamento cruzado anterior es una banda de tejido conjuntivo denso que va desde cóndilo femoral lateral hacia la meseta tibial (figura 1). Tiene un papel central en la rodilla al ser el principal limitador de la translación anterior de la tibia y de las fuerzas rotacionales, además tiene también su importancia en el ámbito de la salud y del deporte ya que es uno de los ligamentos que se ve más lesionado<sup>1</sup>.

En su anatomía, este ligamento tiene sus orígenes en la parte postero medial del cóndilo femoral externo y desde allí se va bajando hacia medial y anterior hasta la meseta tibial. Su longitud se sitúa entre 21 y 41 milímetros (32 milímetros en promedio) con una anchura desde 7mm hasta 12mm<sup>2</sup>. La forma de la sección del LCA no es regular y cambia según el grado de flexión de rodilla, pero siendo la mayor parte del rango más grueso en el sentido anteroposterior. Conforme se aproxima de la tibia, las fibras empiezan a dispersarse y pasan por debajo del ligamento inter-meniscal. Además, según la teoría de “double bundle” que es la más aceptada de todas<sup>1</sup>, existe una doble inserción: unas fibras, llamadas “anteromedial bundle” (AMB) se insertan en el límite medial del cóndilo interno de la tibia y tiene forma de C mientras las otras o “posterolateral bundle” (PLB) se confunden con la inserción del cuerno anterior del menisco externo<sup>2</sup>. A nivel de la inserción femoral, las dos partes están separadas por la cresta lateral bifurcada del cóndilo femoral externo<sup>3</sup>.

Figura 1. Corresponde a la anatomía del ligamento cruzado anterior



Fuente: blogger. ROTURA LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR (LCA) [Internet]. DELGADOTRAUMA - Traumatólogo Castellón. 2013 [cited 2022 May 3]. Available from: <https://www.delgadotrauma.com/rotura-ligamento-cruzado-anterior-lca/>



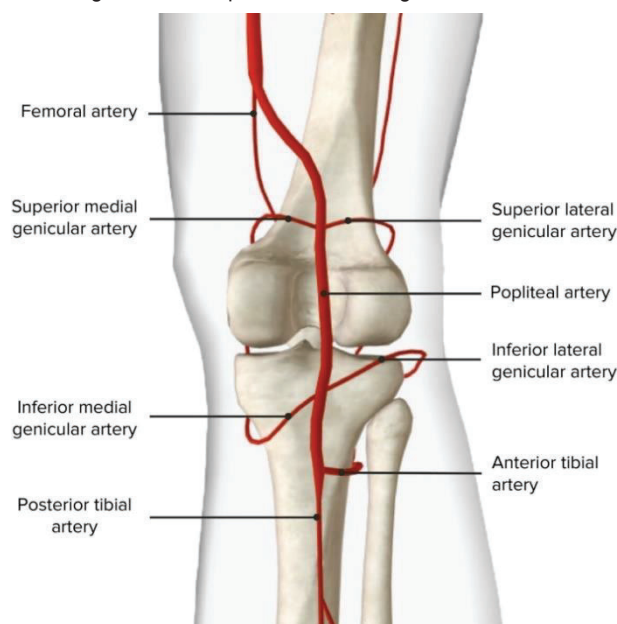
### 1.1.1.1 INERVACIÓN

A nivel de la inervación el ligamento cruzado anterior recibe ramas del tibial posterior que penetran a nivel posterior de la capsula. En su mayor parte, las fibras tienen una funcionalidad vasomotora pero algunas de ellas son sensitivas y dan información sobre movimientos y grado de estiramiento mediante receptores de Paccini, Ruffini y “Golgi-like”. Tienen entonces un papel propioceptivo en la postura de la rodilla y forman parte del huso neuromuscular (o “fusimotor system”) que influye sobre la actividad muscular de la rodilla (el cuádriceps sobre todo) mediante lo que se llama el “reflejo del LCA”. Escasas terminaciones libres transmiten también información nociceptiva<sup>1</sup>.

### 1.1.1.2 VASCULARIZACIÓN

El riego sanguíneo del LCA viene de la arteria genicular medial (AGM) (figura 2) que nace de la arteria poplítea. La AGM penetra la articulación a nivel de la capsula posterior mediante un orificio creado por el ligamento poplíteo oblicuo para después ramificarse llevando sangre a los tejidos blandos presente en la escotadura intercondílea. La arteria crea una red que cubre la totalidad del ligamento y de la cual penetran vasos transversalmente al ligamento que crean anastomosis con vasos endoligamentarios dispuestos paralelamente a las fibras de colágeno. Estos vasos intraligamentarios no llegan hasta los sitios de anclaje óseo del ligamento y además no tienen una repartición homogénea ya que se encuentran una mayor proporción de estos vasos en la parte más proximal del ligamento. Además, se encuentra una pequeña zona avascular al nivel distal, más o menos 5 a 10mm encima de la inserción tibial, por la parte fibrocartilaginosa del ligamento<sup>1</sup>.

Figura 2. Corresponde a la arteria genicular medial



Fuente: Fosa Poplítea: Anatomía [Internet]. Lectorio. [cited 2022 May 3]. Available from: <https://www.lectorio.com/es/concepts/fosa-poplit>

### 1.1.2 BIOMECÁNICA

El LCA tiene un papel central en la estabilidad de la rodilla. Su función principal es limitar la translación anterior de la tibia respecto al fémur, pero participa también en la limitación de la rotación interna y de la angulación en valgo de la rodilla<sup>1,3</sup>. En extensión completa la absorción de la translación anterior es de 75% y el PLB es la parte del ligamento que sufre más tensión, aunque entre 30 y 90 grados de flexión la absorción de la fuerza es de 85% con un mayor esfuerzo del AMB<sup>1</sup>.

### 1.1.3 EPIDEMIOLOGÍA

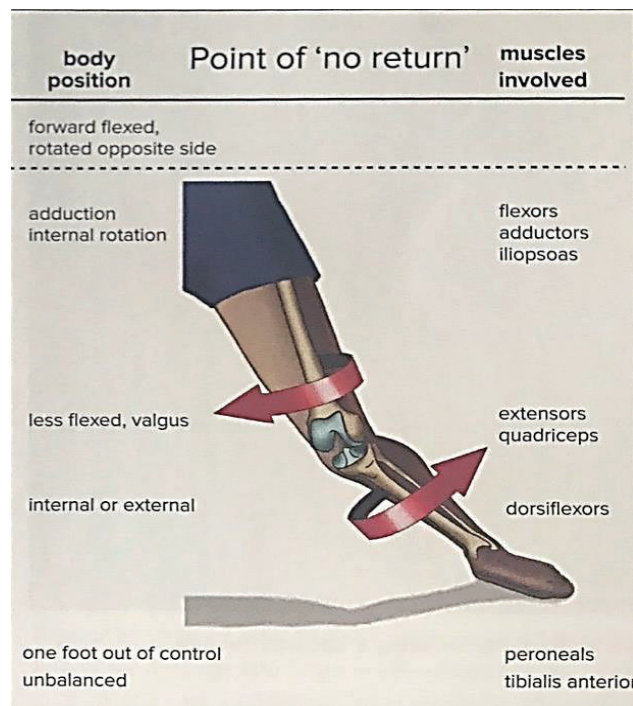
Las lesiones de rodilla representan unos 60% de todas las lesiones en deportistas de secundario<sup>4</sup>. Además, dentro de estas lesiones, la del LCA constituye la mitad de estas<sup>4</sup> con una incidencia de 80000 a 100000 cada año en los Estados Unidos especialmente en las poblaciones más jóvenes<sup>5</sup>. En esta misma población, las mujeres tienen de 2 a 8 veces más riesgo de sufrir de una lesión del LCA<sup>6,7</sup> y tienen una tasa global de lesión más alta por exposición, debido a causas multifactoriales tales como: un valgo de rodilla aumentado (Ángulo Q > 12°) el nivel de hormonas, en efecto las mujeres post pubertad parecen presentar mayores fuerzas de aterrizaje y tasas de carga de fuerza, menores relaciones de torsión de los isquiotibiales a los cuádriceps a altas velocidades angulares y estrategias de activación de los cuádriceps y los isquiotibiales alteradas en comparación con los hombres. Estas diferencias neuromusculares en las mujeres pueden aumentar los movimientos y las cargas del plano frontal de la rodilla durante los movimientos deportivos<sup>7</sup>. Además, tienen un espacio intercondíleo más estrecho que lleva a diferencias en la biomecánica implicada en los cambios de dirección y recepción de saltos<sup>4,7</sup>. También, evidencias indican que puede haber una relación entre la lesión del LCA y la laxitud de la articulación de la rodilla como la laxitud articular generalizada, de hecho, tras el inicio de la pubertad, las mujeres presentan una laxitud articular generalizada significativamente mayor que los hombres<sup>7</sup>. La práctica del deporte es un factor de riesgo muy importante en la lesión, junto con la intensidad a la que se practica<sup>4</sup>. Según un estudio de Gornitzky AL, Lott A, Yellin JL, et al. los deportes más propensos (en una población americana) para una lesión de LCA son el baloncesto y el fútbol para las mujeres, y el fútbol americano y el lacrosse en los hombres<sup>4</sup>.

### 1.1.4 MECANISMO DE LESIÓN

En cuanto a los mecanismos de lesión, las lesiones del LCA pueden ser de dos tipos. El primero, las lesiones causadas por contacto representan unos 30% y requieren una pierna

fija (es decir, cuando está plantada) y fuerzas de torsión con intensidad suficiente para causar un desgarro<sup>5</sup>. Los parámetros que producen este tipo de patrón son una inclinación de tronco, una aducción de rodilla (que corresponde a un valgo) provocas por la combinación de una rotación interna de fémur junta con rotación externa de la tibia, u por último una posición plana del pie respecto al suelo (figura 3). El otro mecanismo de lesión que representa 70% de las lesiones del LCA es sin contacto (que incluye también los contactos indirectos) que se producen principalmente durante la desaceleración de la extremidad inferior, con el cuádriceps contraído al máximo y la rodilla en extensión total o casi<sup>6</sup>. Cuando la rodilla está en o cerca de la extensión completa, la contracción del cuádriceps aumenta la fuerza de tracción del LCA, los isquiotibiales, que estabilizan el LCA en su parte posterior, suelen estar mínimamente contraídos durante estas lesiones, especialmente si la cadera está extendida y el peso del cuerpo está sobre el talón, lo que permite un desplazamiento excesivo del fémur hacia delante sobre la tibia<sup>5</sup>. De los típicos escenarios que producen este tipo de lesión, hay el de la recepción después de un salto donde la rodilla se extiende excesivamente<sup>4,6</sup>.

Figura 3. Corresponde al mecanismo de lesión del LCA



Fuente: Researchgate.net. [cited 2022 May 3]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Multiplanar-loading-mechanism-in-women\\_fig1\\_24282961](https://www.researchgate.net/figure/Multiplanar-loading-mechanism-in-women_fig1_24282961)

### 1.1.5 SÍNTOMAS Y EXPLORACIÓN ORTOPÉDICA

Cuando ocurre una rotura del LCA, los pacientes suelen notar u oír un chasquido, tener una sensación de fallo o colapso de la rodilla y se puede notar un derrame en la articulación<sup>4</sup>. Una manera de comprobarlo es comprimiendo los aspectos media y superior de la rodilla, y luego golpeando el aspecto lateral para crear una onda de líquido. El personal sanitario puede también intentar palpar la rótula con la compresión suprapatelar, que se sentirá esponjosa si

hay derrame<sup>5</sup>. Este derrame articular, junto con el espasmo reflejo de la musculatura hace que el diagnóstico precoz sea más difícil con lo cual la evaluación del LCA debería realizarse tras transcurrido unos días para que la inflamación baja (48-72h) y que sea más relevante. Existen varios test ortopédicos para evaluar el LCA y todos se basan en el movimiento de la tibia en anterior respecto al lado contrario<sup>5</sup> y de estas pruebas manuales, las más segura y fiable de manera significativa es el test de Lanchman y el pivot shift test (figura 4)<sup>4,5</sup>.

Figura 4: Corresponde a la prueba de Lanchman (izquierda) y pivot shift test (derecha)



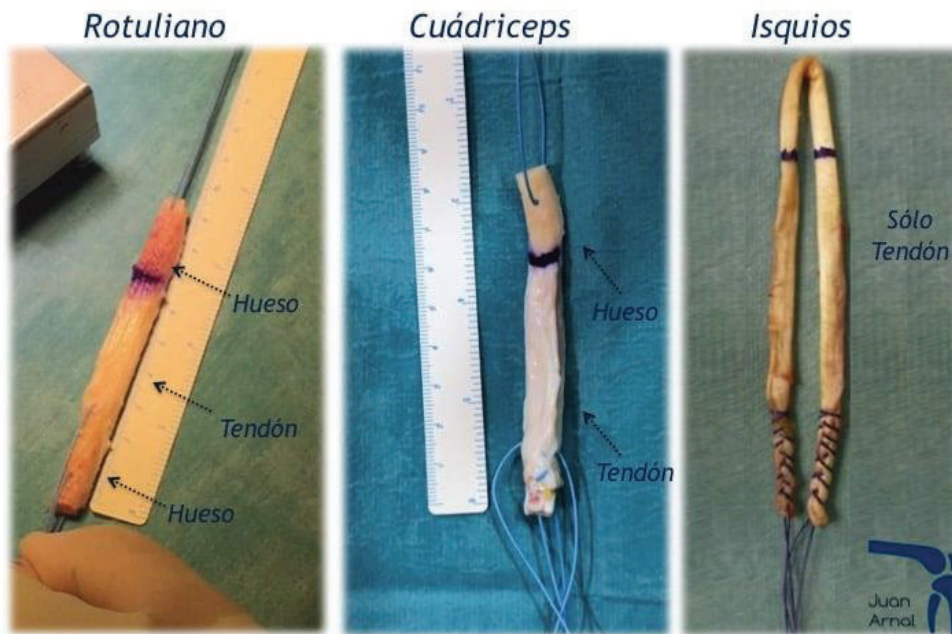
Fuente: Researchgate.net. [cited 2022 May 3]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Physical-examination-ACL-tests-Lachman-1a-anterior-drawer-1b-pivot-shift-1c\\_fig2\\_348949663](https://www.researchgate.net/figure/Physical-examination-ACL-tests-Lachman-1a-anterior-drawer-1b-pivot-shift-1c_fig2_348949663)

### 1.1.6 TRATAMIENTOS

En las lesiones de LCA, la combinación de una escasa vascularización y la presencia de fibrocartílago son dos factores que desempeñan un papel en el escaso potencial de curación del LCA<sup>1</sup>. Además, como visto antes, la incidencia de esta lesión suele ser en una población joven y activa en la cual una inestabilidad de rodilla crónica puede llevar a una degeneración precoz de la rodilla, con lo cual la cirugía suele ser recomendada en la mayoría de los casos<sup>8</sup>. Existen muchos tipos de injertos con diferentes aspectos positivos o negativos y además, aunque un LCA reconstruido no restablece totalmente la estructura original o las propiedades biomecánicas del LCA inicial, el injerto utilizado para la reconstrucción no sólo debe tener unas propiedades estructurales y mecánicas sino que también debe tener poca actividad antigénica (para evitar rechazos) y un potencial de curación biológica innata suficiente para incorporarse adecuadamente al hueso huésped y crear un anclaje fuerte y resistente<sup>8</sup>. Otro parámetro que entra sería la recuperación de un sistema propioceptivo adecuado por su importante papel en la estabilidad de la rodilla y las informaciones transmitidas a los músculos de la rodilla<sup>3</sup>, en este sentido, la preservación de restos del ligamento dañado puede tener su importancia en la reconstrucción del LCA para conservar una cantidad de mecanorreceptores mayor. Hoy en día las reconstrucciones se hacen bajo artroscopia ya que constituye una técnica más precisa y menos dañosa para los tejidos, pero dentro de esta misma técnica existe varias formas de reemplazar el ligamento dañado. La técnica la más usada es la del autoinjerto porque consisten en tejido autógeno viable y evitan el riesgo de transmisión de enfermedades, maximizando la velocidad y la probabilidad de una completa integración biológica. Dentro de los autoinjertos,

las principales consideraciones son la morbilidad de la zona donante y la cicatrización del túnel del injerto, y a nivel clínico, los autoinjertos más utilizados son el hueso-tendón-hueso (HTH) y los isquiotibiales, seguidos del tendón del cuádriceps (figura 5). Luego la otra técnica, los aloinjertos que es un injerto procedente de otra persona (normalmente un cadáver) se utilizan comúnmente en la reconstrucción del LCA (pero menos que el autoinjerto), entre el 22% y el 42% de las reconstrucciones del LCA se realizan con aloinjertos en los Estados Unidos aunque se ha asociado con tasas más elevadas de fracaso del injerto en numerosos estudios clínicos por el alto potencial de infección. Las opciones incluyen aloinjerto de HTH, isquiotibiales cuádruples, cuádriceps, Aquiles, tibial anterior y posterior, y peroneos. El origen anatómico del aloinjerto afecta a las propiedades biomecánicas, observándose la mayor carga hasta el fallo en el tibial anterior o posterior en bucle, la mayor rigidez en el cuádriceps y la menor carga hasta el fallo y rigidez en los injertos de tibial anterior sin bucle. La literatura clínica muestra generalmente resultados superiores tras la reconstrucción del LCA con autoinjerto en comparación con el aloinjerto, aunque también se han comunicado buenos resultados con el aloinjerto. La comparación entre aloinjerto y autoinjerto, dados los diferentes tipos anatómicos y métodos de procesamiento, hacen que la interpretación de los estudios en el contexto más amplio de la práctica clínica sea algo difícil.

Figura 5: Corresponde a los autoinjertos



Fuente: Rotura de Ligamento Cruzado Anterior – Juan Arnal: Traumatólogo en Madrid [Internet]. Traumatologomadrid.es. [cited 2022 May 3]. Disponible en: <https://traumatologomadrid.es/lesion-ligamento-cruzado-anterior/>

## 1.2 BFR

El BFR, que es una técnica de oclusión total del flujo venoso y oclusión parcial del flujo arterial, se originó en los años 70 con el entrenamiento de resistencia Kaatsu del Dr. Yoshiaki Soto, pero no fue hasta 1998 cuando se publicó el primer estudio sobre el BFR<sup>9</sup>.



El método, llamado "KAATSU" por su promotor, se desarrolló posteriormente en Estados Unidos y, más recientemente, en Europa. Apareció por primera vez en los gimnasios y en el mundo del culturismo, luego en el ámbito de la medicina deportiva y, en particular en la fisioterapia y la preparación física para la rehabilitación. Una de las principales ventajas del entrenamiento Kaatsu es que puede desarrollar eficazmente la fuerza de un deportista utilizando cargas ligeras (a partir del 20% de su repetición máxima (RM)) y sin efectos secundarios<sup>10</sup>. Tradicionalmente, el entrenamiento Kaatsu es conocido por utilizar un cinturón de entrenamiento específico patentado Kaatsu-Master (figura 6), que se conoce como un cinturón que contiene un cojín inflable y está conectado a un sistema de control de la presión eléctrica que supervisa la cantidad de presión de sujeción utilizada<sup>11</sup>, lo que permite un control preciso de la cantidad de presión aplicada<sup>12</sup>. Se utilizan otros tipos de equipos, como la aplicación de un torniquete, un manguito presurizado, una banda elástica, rodilleras cómodas o correas de sujeción especialmente diseñadas, que se colocan en la extremidad afectada en la posición más proximal<sup>11</sup>. Aunque los dispositivos neumáticos permiten un control preciso de la presión durante el ejercicio, en general no son prácticos para su uso fuera de un entorno de clínica o laboratorio debido a su coste prohibitivo y a su limitada accesibilidad<sup>12</sup>. Metodológicamente, este manguito se infla hasta el punto de presión en el que se restringe completamente el flujo sanguíneo para luego modularlo desde este punto de referencia. En otras palabras, el entrenamiento de oclusión o BFR consiste en disminuir el flujo sanguíneo a un músculo activo mediante la aplicación de estos dispositivos de envoltura mientras se realizan repeticiones de baja intensidad durante la sesión de ejercicio. La presión aplicada debe ser lo suficientemente alta como para bloquear el retorno venoso del músculo y mantener al mismo tiempo el flujo sanguíneo arterial hacia el músculo activo<sup>11</sup>.

Figura 6. Corresponde al dispositivo de oclusión Kaatsu master



Fuente: Gryfakis D. Kaatsu- the Original bfr training /UK- Greece- Cyprus [Internet]. KAATSU TRAINING. 2019 [cited 2022 May 3]. Disponible en: <https://kaatsu.co.u>

## 1.2.1 APLICACIÓN

El BFR se aplica principalmente durante el ejercicio de resistencia voluntaria (BFR-RE) (figura 7), pero existen otros usos, como durante el ejercicio aeróbico (BFR-AE), y también de forma pasiva sin ejercicio (P-BFR). Investigaciones más recientes también han estudiado el uso del BFR con modalidades de ejercicio no tradicionales, como las técnicas de vibración y la estimulación eléctrica neuromuscular<sup>13</sup>.

El entrenamiento de resistencia tiene muchos beneficios atléticos conocidos, como la reducción del riesgo de lesiones, la mejora de la resistencia muscular, la mejora de la potencia, el desarrollo de la velocidad y el aumento de la fuerza muscular.

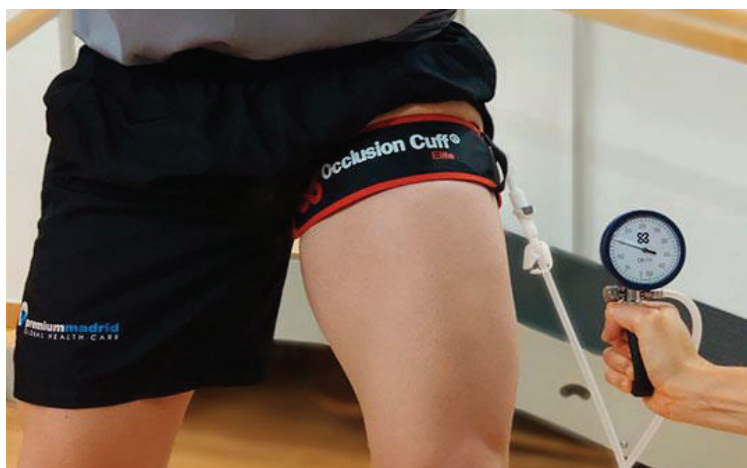
Aunque hay muchas formas de entrenamiento de resistencia, el entrenamiento con pesas ha sido durante mucho tiempo un elemento básico para los entrenadores y los atletas que desean desarrollar la musculatura.

Se ha demostrado en numerosos estudios, incluidos los del Colegio Americano de Medicina Deportiva (ACSM), que hay que realizar ejercicios de resistencia al 70% o más de su tasa de repetición máxima (1RM) para lograr la hipertrofia muscular en condiciones normales. Las intensidades de ejercicio por debajo del 70% de la 1RM rara vez producen una hipertrofia muscular o ganancias de fuerza<sup>14</sup>.

Sin embargo, muchas personas, como los ancianos, los atletas en rehabilitación o los individuos con complicaciones metabólicas crónicas no pueden soportar las elevadas tensiones mecánicas impuestas a las articulaciones durante el entrenamiento de alta resistencia (riesgo potencial de lesiones)<sup>11</sup>, por lo que los profesionales han buscado alternativas de entrenamiento de menor intensidad<sup>15</sup>.

Posteriormente se demostró que el entrenamiento con pesas ligeras y altas repeticiones puede dar lugar a un aumento significativo de la hipertrofia y la fuerza muscular cuando se combina con la restricción del flujo sanguíneo, el principio BFR<sup>12</sup>.

Figura 7. Corresponde a un entrenamiento oclusivo



Fuente: Ruiz R. Entrenamiento oclusivo: qué es y su aplicación durante la rehabilitación [Internet]. Rehabilitación Premium Madrid. 2021 [cited 2022 May 3]. Disponible en: <https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/raulruiz/entrenamiento-occlusivo-que-es-y-su-aplicacion-durante-la-rehabilitacion/>

## 1.2.2 MODALIDADES

### ***Carga de ejercicio :***

Para la mayoría de las personas, el ejercicio con cargas correspondientes al 20-40% de su nivel de fuerza máxima (1RM) probablemente maximice el crecimiento muscular y la fuerza<sup>13</sup>.

### ***Volumen :***

En la literatura sobre BFR-RE (BFR en el ejercicio de resistencia), hay un patrón de series/repeticiones común y frecuentemente utilizado que implica 75 repeticiones en cuatro series de ejercicios, con 30 repeticiones en la primera serie y 15 repeticiones en las 3 últimas series. También es habitual realizar de 3 a 5 series hasta el fallo concéntrico durante el BFR-RE. En algunos casos, las repeticiones hasta el fallo pueden no ser necesarias, como en la rehabilitación postquirúrgica<sup>13</sup>.

### ***Velocidad de ejecución:***

La velocidad de contracción debe ser de 1-2 s (concéntrica y excéntrica)<sup>13</sup>.

### ***Periodos de descanso:***

Los periodos de descanso entre series utilizados durante la BFR-RE suelen ser cortos y la restricción se mantiene normalmente durante todo este periodo, aunque algunos estudios han demostrado que la restricción puede ser intermitente. En general, se recomienda que los periodos de descanso sean de 30 a 60 segundos<sup>13</sup>.

### ***Duración de la restricción:***

La duración de la restricción es de aproximadamente 5 a 10 minutos por ejercicio y vale la pena quitar la oclusión para una reperusión entre ejercicios<sup>13</sup>.

### ***Frecuencia:***

El entrenamiento de resistencia se recomienda de 2 a 4 veces por semana para estimular la hipertrofia del músculo esquelético y las adaptaciones de la fuerza<sup>13</sup>. Sin embargo, otros enfoques de alta frecuencia (1-2 veces al día) pueden utilizarse durante periodos cortos (1-3 semanas).

### ***Duración de los programas de formación:***

En cuanto a la duración de los programas de BFR-RE, se han observado adaptaciones de hipertrofia y fuerza muscular en periodos cortos, como 1-3 semanas<sup>13</sup>.

### ***Presión:***

La presión necesaria para interrumpir el flujo sanguíneo a una extremidad (es decir, la presión de oclusión arterial (AOP)) está relacionada con una serie de características individuales de la extremidad: la forma, la anchura y la longitud del torniquete, el tamaño de la extremidad o la presión arterial de un individuo<sup>13</sup>.



La presión puede ajustarse de diferentes maneras:

- A partir de un % de AOP: Esto se consigue inflando el manguito utilizado durante el ejercicio hasta el punto en que cesa el flujo sanguíneo (100% de AOP) y utilizando un porcentaje de esta presión (por ejemplo, 40-80% de AOP) durante el ejercicio.
- De una presión absoluta ejercida sobre la extremidad (independientemente de la anchura del manguito y del tamaño de la extremidad) expresada en mmHg<sup>13</sup>.

La presión óptima a la que aumenta el rendimiento por efecto de la hipertrofia esquelética es muy diversa en la literatura. Muchos estudios han utilizado el entrenamiento de BFR con oclusión vascular aplicando presiones de oclusión que podían variar desde 50 mmHg hasta tan altas como 300 mmHg<sup>11</sup>. Aunque la mayoría de los estudios han producido adaptaciones musculares beneficiosas con las mismas presiones absolutas aplicadas a cada individuo, parece que una mayor presión de BFR puede aumentar la respuesta cardiovascular y a menudo induce molestias asociadas a este tipo de ejercicio (dolor).

Por lo tanto, se recomienda que la presión durante el ejercicio de la BFR se fije en función de la medición de la AOP, y que las presiones entre el 40 y el 80% de la AOP tengan evidencia de eficacia<sup>13</sup>.

Sin duda, hay otras características que influyen directamente en la presión aplicada a la extremidad que es importante tener en cuenta.

#### ***Material de los puños:***

También hay una gran disparidad en la estandarización del tipo de material del que está hecho cada manguito. La mayoría de los manguitos estrechos se fabrican con materiales elásticos, en contraste con los manguitos más anchos, que se fabrican con nylon<sup>11</sup>. Sin embargo, no hay pruebas disponibles que sugieran que un material de manguito sea superior a otro, ya que ambos pueden lograr resultados similares ajustando la AOP<sup>13</sup>

#### ***Ancho del manguito:***

A diferencia del material del manguito, la cantidad de presión necesaria para detener el flujo sanguíneo en una extremidad viene determinada en gran medida por la anchura del manguito aplicado. Un manguito más ancho requiere menos presión, principalmente debido a la mayor superficie a la que se aplica la presión. Este es un punto importante porque hay una amplia gama de anchos de manguito (de 3 a 18 cm) y el ajuste de dos manguitos de tamaño diferente a la misma presión puede producir consecuencias diferentes. Por lo tanto, se recomienda utilizar una amplia variedad de anchos de manguito si la presión se ajusta adecuadamente utilizando el AOP.

La variación de la presión arterial sistémica entre los sujetos, así como las diferencias en la presión de contención debidas a la anchura del manguito y a la circunferencia del grupo muscular activo, pueden requerir más investigación antes de que se pueda desarrollar un enfoque estandarizado<sup>11</sup>.

Por otra parte, está bien establecido que los niveles más altos de presión de torniquete y los gradientes de presión más elevados se asocian a un mayor riesgo de lesión nerviosa y

aumentan el riesgo de efectos secundarios adversos, incluida una posible lesión isquémica. Además, el uso de presiones que ocluyen en lugar de restringir el flujo sanguíneo está asociado a otras limitaciones y peligros. La oclusión arterial completa reduce la eficacia del procedimiento de BFR, supone un esfuerzo adicional para el sistema cardiovascular y puede conducir a la formación de trombos<sup>16</sup>.

#### ***Fisiología:***

El BFR es un catalizador biofisiológico natural del que se derivará toda una cascada de reacciones metabólicas para conseguir una ganancia de fuerza e hipertrofia<sup>10</sup> que están descritos en seguida.

### 1.3 FISIOLÓGÍA MUSCULAR

#### **Definición de hipertrofia:**

La hipertrofia del músculo esquelético se define como un aumento de la masa muscular relacionado con un aumento del tamaño de las fibras musculares y no del número de fibras del músculo esquelético. La hipertrofia muscular es inducida por la tensión mecánica<sup>16</sup> y el estrés metabólico que producen una cascada de señalización y factores de crecimiento. Es plausible que el estrés mecánico y el estrés metabólico activen mecanismos que generan hipertrofia y que sus efectos sean aditivos y sinérgicos. Es posible que las implicaciones de los factores primarios y sus mecanismos asociados en la producción de hipertrofia muscular dependan de la intensidad y la modalidad de entrenamiento utilizadas. Por ejemplo, el ejercicio de resistencia de alta intensidad crea un mayor nivel de tensión mecánica<sup>17</sup> en vez del entrenamiento con BFR con intensidad más bajas, sin embargo, gracias a la hipoxia y/o y la estimulación metabólica el BFR permite crear un mayor estrés metabólico. Así, el estrés metabólico parece desempeñar el papel dominante en la mediación de la hipertrofia muscular, pero sigue siendo importante tener en cuenta el papel de la tensión mecánica, ya que la combinación de ambos principios contribuye al crecimiento muscular<sup>17</sup>.

#### ***Tensión mecánica:***

La tensión mecánica es la tensión que recibe un músculo al ser sometido a una fuerza. Está determinado en gran medida por el momento de fuerza.

#### ***Estrés metabólico:***

El estrés metabólico se refiere a la acumulación de metabolitos durante el ejercicio y se encuentra principalmente en condiciones de isquemia e hipoxia como las que se observan durante el ejercicio de resistencia BFR<sup>17</sup>.

En la misma medida, el estrés mecánico y el estrés metabólico existen mecanismos avanzados que se suman para intervenir en el proceso de hipertrofia, aumentando la síntesis de proteínas mediante la activación de las vías de señalización, la activación y proliferación de las células satélite para la inducción del crecimiento muscular.

En las siguientes subsecciones se analizan estos factores secundarios con más detalle en cuanto al grado de activación por el estrés mecánico y metabólico y la importancia de su participación en la hipertrofia inducida por el entrenamiento de resistencia BFR<sup>17</sup>.

#### ***Mecanotransducción:***

La tensión mecánica provoca adaptaciones morfológicas a través del proceso de mecanotransducción. Los mecanorreceptores celulares vinculados al sarcolema, como las integrinas y las adhesiones focales, convierten la energía mecánica en señales químicas que activan las vías anabólicas y catabólicas intracelulares. Esta activación altera el equilibrio de las proteínas musculares y favorece la síntesis frente a la degradación<sup>17</sup>.

#### ***Daños musculares:***

El daño muscular inducido por el ejercicio (EIMD) es un poderoso estímulo para el crecimiento muscular, mediado por las células satélite. El mayor daño al tejido muscular se observa durante el ejercicio excéntrico, en el que los músculos se estiran con fuerza y la intensidad, el volumen y la duración del ejercicio son elevados. También se trata de un factor inherente al individuo<sup>13</sup>, es decir, algunos individuos pueden ser más susceptibles de sufrir daños musculares que otros. Sin embargo, hay algunas pruebas de que la EIMD puede no ser el factor principal en la hipertrofia inducida por el ejercicio bajo BFR, debido a su naturaleza de baja intensidad<sup>17</sup>.

#### ***Hormonas sistémicas y locales:***

El entrenamiento de resistencia con BFR inducirá dos formas de expresión hormonal. La expresión de las hormonas sistémicas, que son producidas por una glándula y circulan por el torrente sanguíneo, y la expresión de las hormonas locales, que no circulan por el torrente sanguíneo y son producidas por células nerviosas y glandulares. Se liberan principalmente durante el trabajo físico y el ejercicio. El aumento del estrés metabólico inducido durante el entrenamiento desencadena una fuerte respuesta hormonal anabólica después del ejercicio que explicaría los efectos hipertróficos<sup>17</sup>. De hecho, muchos estudios han informado de que este tipo de ejercicio facilita la expresión de muchas hormonas sistémicas, incluidas la hormona del crecimiento (GH) y el IGF-1. En efecto, la hormona IGF-1 es uno de los factores biológicos que más influyen en la masa muscular, ya que es un potente factor de crecimiento, es decir, aumenta el ritmo de multiplicación celular. Produce una hipertrofia de las células musculares, es decir, aumenta su tamaño y, por tanto, su capacidad de producir fuerza. La tensión mecánica contribuye a las adaptaciones hipertróficas a través de las hormonas locales inducidas (como la isoforma localizada del IGF-1, IGF-1Ec, más conocida como factor de crecimiento mecánico (MGF))<sup>17</sup>, que se cree que es el principal responsable de los efectos hipertróficos del entrenamiento de resistencia, pero también de la síntesis de proteínas musculares y del crecimiento muscular. De hecho, esta isoforma se expresa en respuesta al daño muscular inducido por el ejercicio y es necesaria para la regulación fina del proceso de hipertrofia actuando en equilibrio con el crecimiento muscular mediado por el IGF-1.

***Hinchazón celular:***

El aumento de la hidratación intracelular, fenómeno conocido como "hinchazón celular", es uno de los mecanismos más novedosos implicados en las adaptaciones hipertróficas del ejercicio de resistencia BFR. La hinchazón celular permite una acumulación de metabolitos y crea un gradiente de presión que favorece el flujo sanguíneo hacia las fibras musculares. Este aumento de su estructura inicia una respuesta de señalización que conduce a la proliferación y al fortalecimiento de la estructura muscular<sup>17</sup>.

***Reactive Oxygen Species (ROS):***

Los ROS son especies químicas conocidas por estar involucradas en el crecimiento e hipertrofia del músculo esquelético. Aunque normalmente están producidas principalmente por tensión mecánica (más presente en entrenamientos de media o alta intensidad), algunos estudios han destacado que la hipoxia junto con la reperfusión subsiguiente del BFR permite también producir estos productos claves en el desarrollo muscular<sup>17</sup>.

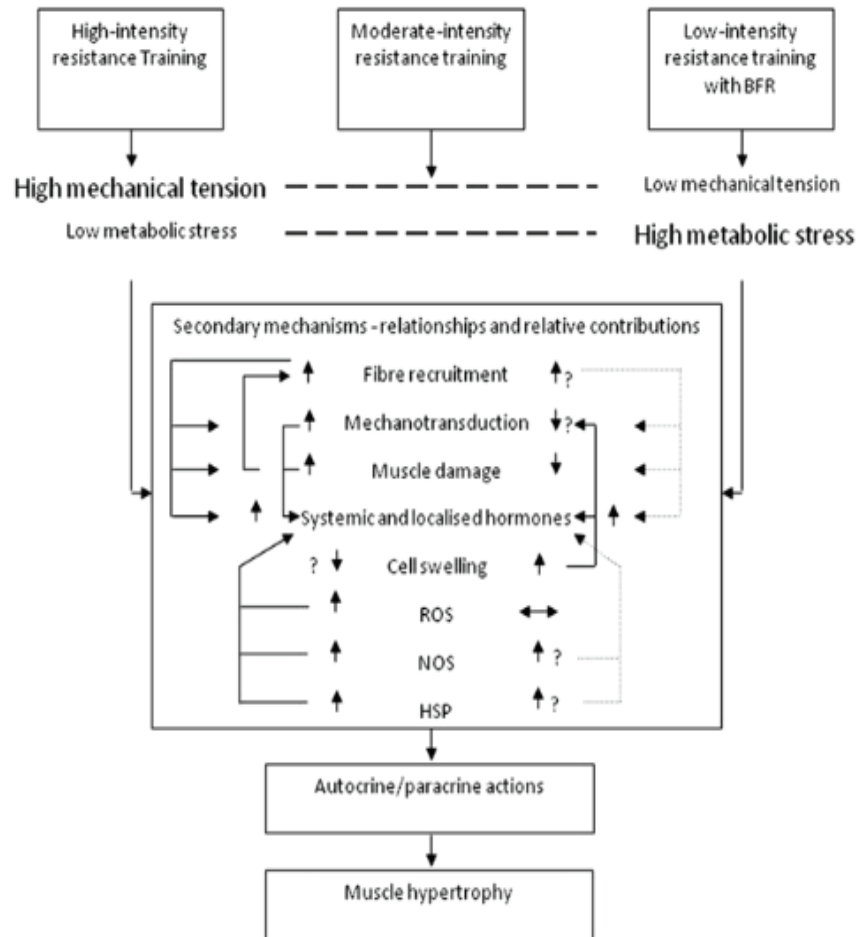
***Reclutamiento de fibras:***

El incremento de reclutamiento de fibras tipo II (fibras rápidas) es un punto central y un parámetro indispensable para potenciar los efectos hipertróficos del ejercicio. Aunque según los principios del control neuromotor la activación de esas fibras se obtiene solo con el entrenamiento de alta intensidad, el BFR lo permitiría también gracias al inadecuado suministro de oxígeno a las fibras de tipo I (lento) y al aumento de metabolitos. En efecto, estos dos efectos producen una inhibición de la motoneurona alfa resultando en un aumento de reclutamiento de fibras para compensar y mantener una fuerza adecuada así que proteger frente a condiciones de fallo muscular<sup>17</sup>.

***Heat Shock Protein (HSP)***

Las HSP son proteínas que ayudan a mantener la homeostasis celular frente a estrés metabólico, sobre todo cuando se trata de ROS. Estas proteínas pueden ser producidas por la propia presencia de ROS en el medio celular pero también frente a calor, acidosis, hipoxia e isquemia-reperfusión que son efectos característicos del BFR<sup>17</sup>.

Figura 8. Corresponde al esquema de la contribución del estrés mecánico y metabólico en la hipertrofia



Fuente: Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. Sports Med [Internet]. 2015;45(2):187–200. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>

## 2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo principal

- Analizar la eficacia de la aplicación de BFR en ejercicios de rehabilitación y sus efectos a nivel del músculo, en lesiones y cirugías de ligamento cruzado anterior.

### 2.2 Objetivos secundarios

- Tendremos un especial enfoque en compararlo con un entrenamiento con altas cargas, ya que constituye el principal tipo de ejercicios de rehabilitación en esta lesión.
- Además se pretende analizar si el BFR ofrece efectos añadidos favorables a la recuperación.

### 2.3 Hipótesis

Planteamos la hipótesis que el ejercicio bajo BFR tendrá un mayor efecto a nivel del músculo, y que además llevará beneficios a nivel metabólicos y funcionales que no se consiguen con ejercicio clásico.

## 3 MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en PubMed y en EBSCO. Las palabras clave utilizadas han sido "Blood Flow Restriction" ; "BFR" ; " Anterior cruciate ligament reconstruction" ; "exercise with blood flow restriction" ; "ACL reconstruction". Se utilizaron los filtros "humanos" y "RCT" para refinar la búsqueda 1. Mientras que en el caso de la investigación 2, el número de resultados era bajo, aplicamos directamente nuestros criterios de inclusión y exclusión para obtener nuestros artículos de interés. Por último, para la búsqueda número 3, la base de datos utilizada fue EBSCO, con idénticas palabras clave: "blood flow restriction"; "ACL reconstruction"; a las que se aplicaron los filtros "full text"; "<5y/o". La estrategia de búsqueda se resume en un diagrama (figura 9 y 10.).

### 3.2 CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

Los artículos fueron elegidos si cumplían los siguientes criterios:

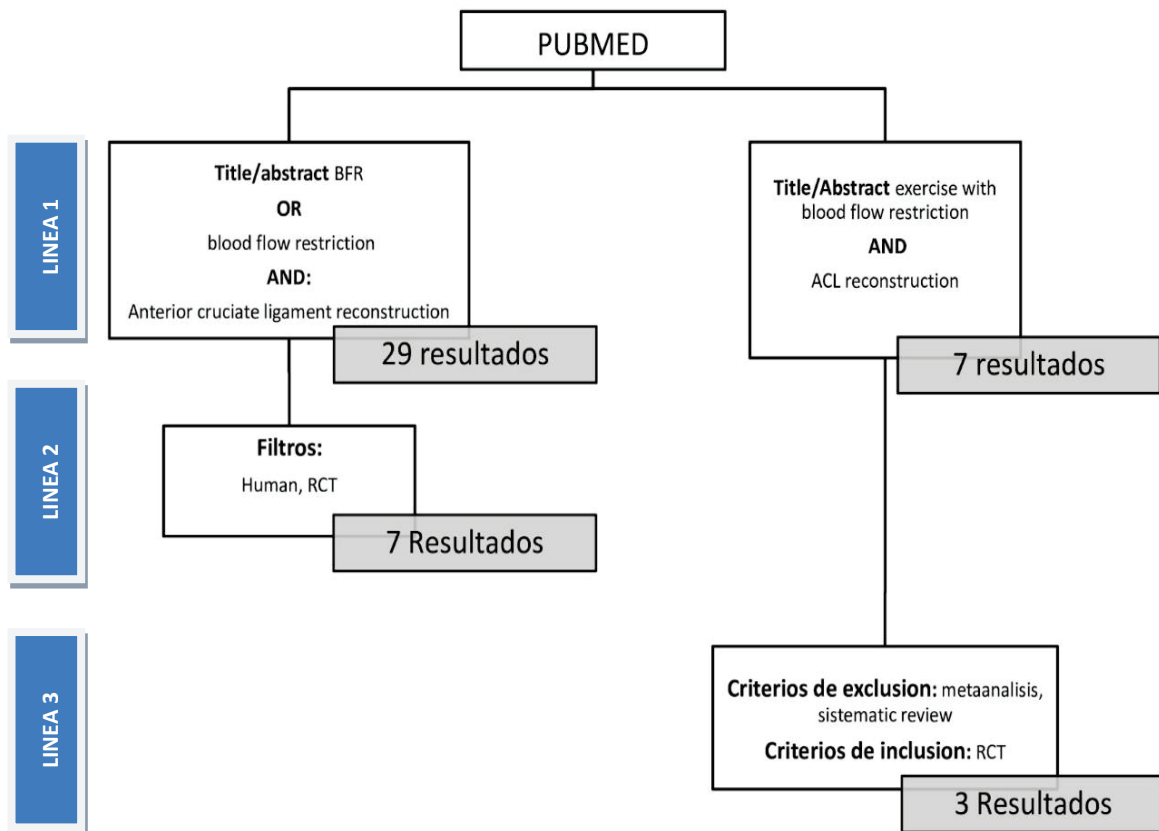
- PEDro superior o igual a 5/10
- Inclusión: Entrenamientos de fuerza muscular en humanos, en los que se compara un entrenamiento con BFR respecto de otro a una intensidad igual o diferente sin BFR.

- Pacientes en la fase de rehabilitación post lesión o postoperatoria de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior
- Exclusión: metaanálisis y systematic review

### 3.3 CALIDAD DEL ESTUDIO

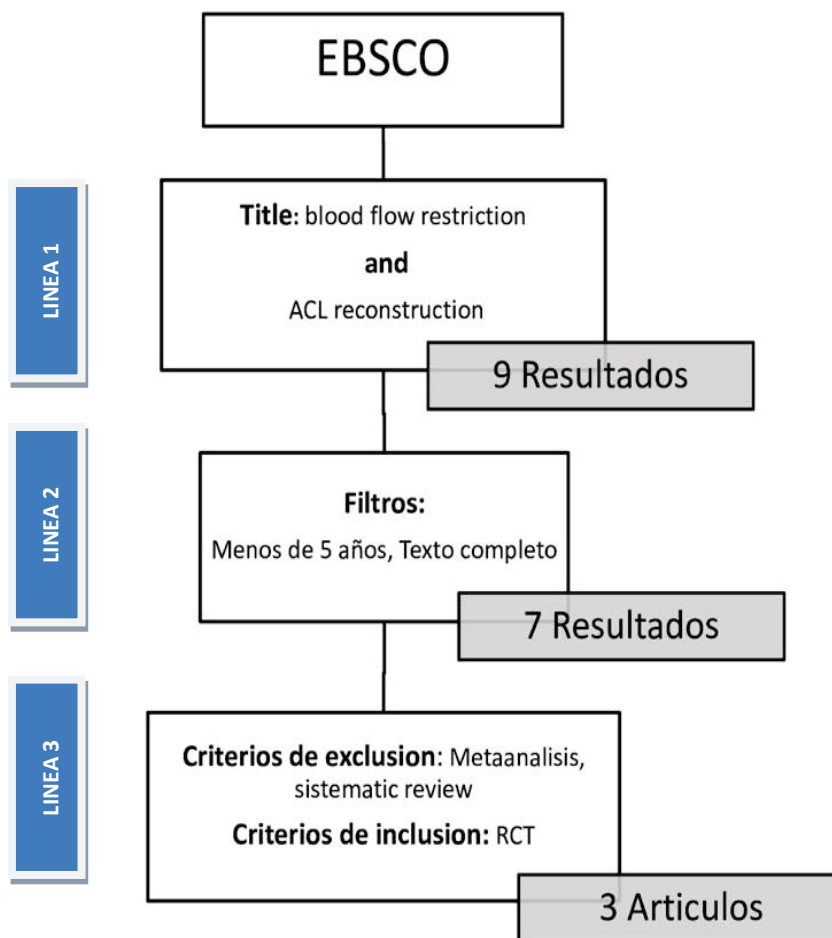
La calidad del estudio se evaluó con la Escala PEDro (fig.3). El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de las bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Fueron seleccionados únicamente los artículos que tenían una puntuación igual o mayor a 5 en la escala de PEDro.

Figura 9: Corresponde a los procesos de investigación en Pubmed. Línea 1: Palabras claves. Línea 2: Filtros utilizados. Línea 3: Criterios de inclusión y exclusión



Fuente: elaboración propia

Figura 10: Corresponde a los procesos de investigación en EBSCO. Línea 1: Palabras claves. Línea 2: Filtros utilizados. Línea 3: Criterios de inclusión y exclusión.



Fuente: elaboración propia.



Figura 11: Escala pedro

### Escala PEDro-Español

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:

Fuente: Échelle [Internet]. PEDro. 2016 [cited 2022 May 3]. Disponible en: <https://pedro.org.au/french/resources/pedro-scale/>

Tabla 1 : Corresponde a la valoración de los artículos según la escala PEDro

Artículos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
1. Hughes L, et al. <sup>18</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10/10
2. Kacin A, et al. <sup>19</sup>	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	7/10
3. Hughes L, et al. <sup>20</sup>	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	8/10
4. Hughes L, et al. <sup>21</sup>	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	8/10
5. Kilgas MA, et al. <sup>22</sup>	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	5/10
6. Lambert B, et al. <sup>23</sup>	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	7/10
7. Curran MT, et al. <sup>24</sup>	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7/10
8. Ohta H, et al. <sup>25</sup>	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	6/10
9. Iversen E, et al. <sup>26</sup>	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	6/10

Fuente; elaboración propia

## 4 RESULTADOS

### 4.1 TABLA RESUMEN DE LOS ARTÍCULOS

Tabla 2 : Corresponde a la tabla resumen de los artículos

Artículos	N	EDAD	SEXO	ACLR	EJERCICIO	INTENSIDAD %1RM	MANGUITO	OCLUSION	FREQ	TI
Art 1 <sup>18</sup>	28	-	-	SI	Presa de pierna unilateral	HL-RT= 70% 1RM  BFR-RT= 30% 1RM	11,5 cm	80% LOP	2/sem	8 s
Art 2 <sup>19</sup>	12	18-45	H/M	SI	Ejercicios de extensión flexión de rodilla.	40% 1RM	13,5 cm	150 mmHg	3/sem	3 s

Art 3 <sup>20</sup>	28	29+/-7	H/M	SI	Presa de pierna unilateral	HL-RT= 70% 1RM  BFR-RT=30% 1RM	11,5 cm	80% LOP	2/sem	8 s
Art 4 <sup>21</sup>	30	29+/-5	H/M	SI	Presa de pierna unilateral	HL-RT= 70% 1RM  BFR-RT=30% 1RM	11,5 cm	80% LOP	2/sem	8 s
Art 5 <sup>22</sup>	18	18-44	H/M	SI	1- Extensión de rodilla 2- Media sentadilla 3- Marcha	-	-	50% LOP	5/sem	4 s
Art 6 <sup>23</sup>	14		H/M	Si	Contracciones de cuádriceps, Prensa bilateral/excéntrica Curl de isquiotibiales excéntricos	20% 1RM	-	80%LOP	2/sem	12

Artículo	N	EDAD	SEXO	ACLR	EJERCICIOS	INTENSIDAD %1RM	MANGUITO	OCCLUSION	F	T
Art 7 <sup>24</sup>	34	16+/- 2	H/F	SI	Presa isocinética	70% 1RM en los dos grupos	-	80% LOP	2/sem	8 sem
Art 8 <sup>25</sup>	44	18-52	H/M	SI	Elevación de la pierna recta, abducción y aducción de la cadera ; Media sentadilla ; step-up ; marcha	-	-	180mmHg	6/sem	16 sem
Art 9 <sup>26</sup>	12	18-40	H/M	SI	Contracciones isométricas del cuádriceps, progresando a la extensión de la pierna, elevación de la pierna recta.	-	14cm	180mmHg	5/sem 2/día	2 sem

Fuente: elaboración propia.

## 4.2 TABLA DE VARIABLES

Tabla 3: Corresponde a la definición de las variables de los artículos.

Artículos	Objetivos	Resultados
Artículo 1 <sup>18</sup>	<p>Comparar la eficacia del BFR-RT y el entrenamiento de resistencia de alta carga tradicional (HL-RT) para mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético, la función física, el dolor y el derrame en pacientes con ACLR después de la cirugía.</p>	<p><b>MUESTRA:</b> 28 pacientes con reconstitución de cruzado anterior (autoinjerto isquiotibial RT) y el grupo con BFR.</p> <p><b>MODALIDADES:</b> Presa unilateral dos veces a la semana:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo HL-RT: 70% 1RM, 3 series de 10 repeticiones con descanso de 30 segundos</li> <li>- Grupo BFR-RT: 30% 1RM y un LOP de 80%, 4 series de 30/15/15/15 con descanso de 30 segundos</li> </ul> <p>Las medidas se hacen en diferentes tiempos: Preoperatorio, postoperatorio, y a las 8 semanas.</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><i>Fuerza:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concéntrica: medida por prueba de fuerza en una presa de pierna, 10 repeticiones por serie, 5 series sumando 5 kilos a cada serie, con descanso de 3 minutos</li> <li>- Isocinética: medida electrónica de flexores y extensores de rodilla (con Biodex)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay diferencia significativa en la prueba concéntrica: -BFR-RT: 104±18%, HL-RT: 104±18%, <math>d = 0.22</math>, <math>d = 0.3</math>).</li> <li>• Ambos grupos experimentaron aumentos significativos en la fuerza 10RM escalada: 21% y 40 ± 16% para las extremidades lesionadas y no lesionadas, respectivamente.</li> <li>• Por otro lado se ha visto una disminución significativa del torque máximo (en toda la prueba) en el grupo BFR-RT (all <math>p &lt; 0.01</math>, <math>d = 0.7-1.2</math>).</li> </ul> <p><i>Morfología muscular:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grosor muscular/Angulo de penación (ángulo que forman las fibras musculares con la línea que reduce el ángulo, aumenta la fuerza total generada) / longitud de fascículo del músculo</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ambos grupos experimentaron aumentos significativos en el grosor muscular (5,8 ± 0,3% y 3,4 ± 0,1%) para BFR-RT y HL-RT, respectivamente, sin diferencias significativas en el ángulo de penación (0,5 para el grosor muscular y el ángulo de penación, respectivamente).</li> <li>• No hay diferencia en la longitud de fascículo sin diferencia entre grupo (<math>p = 0.94</math> años).</li> </ul>

		<p><i>Función física:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuestionarios: International Knee Documentation Committee (IKDC) que mide Outcome Score (KOOS) cuestionario general sobre problemas de rodilla / The knee-scoring scale (LKSS) que es una evaluación de la cirugía y de la estabilidad</li> <li>• Aumentos significativamente mayores en todas las medidas de autoinforme con BFR-RT</li> <li>• SEBT= A lo largo de 8 semanas de entrenamiento, hubo incrementos significativos en el alcance con BFR-RT</li> </ul> <p><i>Dolor:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluación del dolor mediante un cuestionario: Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)</li> <li>• A lo largo de 8 semanas de entrenamiento se produjo un aumento significativo de <math>39 \pm 14\%</math> con BFR-RT, lo que se traduce como una disminución del dolor.</li> </ul> <p><i>ROM:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Con goniómetro se mide la diferencia entre los 2 miembros</li> <li>• A lo largo de 8 semanas de entrenamiento, la diferencia de flexión (<math>- 80\% \pm 27\%</math> frente a <math>- 78 \pm 22\%</math> frente a <math>- 42 \pm 16\%</math>) disminuyeron significativamente con el BFR-RT</li> </ul> <p><i>Efusión:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se mide la circunferencia medio-patelar.</li> <li>• A lo largo de 8 semanas de entrenamiento se produjo una disminución significativa en la articulación media de la rótula (<math>- 5,8 \pm 1,2\%</math> frente a <math>- 2,4 \pm 1,8\%</math>) con BFR-RT</li> </ul> <p><i>Laxitud:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se mide la laxitud mediante un aparato (KT-1000 knee ligament arthrometer)</li> </ul> <p>Disminuyó sin diferencias entre los grupos (<math>p = 0,87</math>, <math>d = 0,1</math>). Con la BFR-RT, la diferencia fue de <math>1,7 \text{ mm}</math>, una diferencia media de <math>2,3 \pm 1,6 \text{ mm}</math> (IC del 95%: 1,42-3,25) que fue estadísticamente significativa (<math>p &lt; 0,01</math>, <math>d = 1,4</math>). Con la BFR-RT, la diferencia de lado a lado disminuyó de <math>3,5 \pm 1,0</math> a <math>1,3 \pm 0,8 \text{ mm}</math>, una diferencia media de <math>1,7 \text{ mm}</math> que fue estadísticamente significativa (<math>p &lt; 0,01</math>, <math>d = 1,4</math>).</p>
--	--	--

<p>Artículo 2<sup>19</sup></p>	<p>“El presente estudio tenía como objetivo dilucidar si el entrenamiento con BFR puede aumentar el aumento inducido por el ejercicio en la función muscular y el tamaño de los músculos QF y los isquiotibiales en pacientes con deficiencia de LCA.”</p>	<p><b>MUESTRA:</b> 6 pacientes (3 mujeres, 3 hombres) en cada grupo: BFR ; SHAM-BFR y Co</p> <p><b>MODALIDADES :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo BFR: 4 series de extensiones y flexiones de rodilla a 40% de 1RM has lesionada. El manguito se infló con aire hasta una presión acumulada de ejercicio isotónico de extensión de rodilla hasta el fallo voluntario. Descanso desinfló el manguito para permitir 90s de reperusión.</li> <li>- El grupo SHAM-BFR realizó un protocolo de ejercicio idéntico con el mismo n el manguito inflado a sólo 20 mmHg.</li> </ul> <p>Se realizaron pruebas isocinéticas de acciones concéntricas máximas alternas de lo angulares de 60°/s y 120°/s para medir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relación estándar entre los isquiotibiales y los cuádriceps (H/QF)</li> <li>- Índices de fatiga (IF)</li> </ul> <p>Se capturaron múltiples cortes transversales del muslo con un escáner axial pondera hueso del fémur de la pierna lesionada, utilizando un escáner de RMN de 3T</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><u>Fuerza isocinética y relaciones H/QF:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXT rodilla, el grupo BFR tenía un mayor momento de fuerza <math>\Delta</math> a 60°/s (<math>14 \pm 13</math> 11% frente a <math>0 \pm 6\%</math>), momento de fuerza <math>\Delta</math> a 120°/s (<math>10 \pm 9\%</math> frente a <math>-4 \pm 7\%</math>), y que el grupo SHAM- BFR.</li> <li>• FLEX rodilla, el momento de fuerza <math>\Delta</math> a 60°/s fue similar en los grupos BFR (<math>6 \pm 9\%</math> total <math>\Delta</math> a 60°/s fue mayor en el grupo BFR (<math>12 \pm 9\%</math> vs. <math>0 \pm 7\%</math>).</li> <li>• Del mismo modo, el <math>\Delta</math> momento de fuerza a 120°/s fue similar en los grupos BFR (<math>\Delta</math> trabajo total a 120°/s fue significativamente mayor en el grupo BFR (<math>10 \pm 12\%</math> vs. <math>0,04 \pm 0,08</math> frente a SHAM-BFR: <math>0,03 \pm 0,09</math>) y a 120°/s (BFR: <math>-0,03 \pm 0,10</math> significativamente diferentes entre los grupos.</li> </ul> <p><u>Área de la sección transversal del músculo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El <math>\Delta</math> CSA cuádriceps fue significativamente mayor en el grupo BFR (<math>5,0 \pm 3,4\%</math> 2,1%). El <math>\Delta</math>CSA isquiotibial fue similar entre el grupo BFR (<math>5,1 \pm 3,1\%</math>) y el grupo S</li> </ul> <p><u>Índices de fatiga muscular:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EXT de la rodilla, el grupo BFR tenía un <math>\Delta</math>FIpt significativamente mayor a 60°/s (<math>-5 \pm 2,2\%</math> frente a <math>-0,8 \pm 1. 9\%</math>), <math>\Delta</math>FIpt a 120°/s (<math>-3,2 \pm 2,5\%</math> frente a <math>-0,5 \pm 0,8\%</math>) y <math>\Delta</math> comparación con el grupo SHAM- BFR. En el caso de los músculos flexores de la <math>\Delta</math>FIpt similar a 60°/s (<math>-4,2 \pm 5,2\%</math> vs. <math>-2,2 \pm 3,4\%</math>), <math>\Delta</math>FIw a 60°/s (<math>-1. 0 \pm 6,7\%</math> frente a <math>-0,3 \pm 2,8\%</math>) y <math>\Delta</math>FIw a 120°/s (<math>0,7 \pm 3,9\%</math> frente a <math>-0,2 \pm 2,6\%</math>).</li> </ul> <p><u>Respuestas transcripcionales:</u></p>
--------------------------------	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• El SHAM-BFR redujo la expresión de ARNm de HIF-1<math>\alpha</math> (HIF-1A) en el músculo vas. Aunque el ARNm del VEGF-A tendió a ser mayor en los músculos BFR que en los SHA.</li> <li>• La expresión del ARNm de la miostatina y de su receptor se redujo (<math>p &lt; 0,05</math>) con el entrenamiento. La expresión de IL-6, sus receptores IL-6R<math>\alpha</math> y gp130, así como el control y de entrenamiento.</li> </ul>
Artículo 3 <sup>20</sup>	<p>El objetivo de este estudio era doble: - - Examinar si las respuestas de esfuerzo percibido, dolor muscular y dolor en la articulación de la rodilla a la BFR-RT en pacientes con ACLR se alteran después de múltiples sesiones de entrenamiento. - Comparar si estas respuestas son similares a las observadas con la HL-RT a través de un programa de entrenamiento de rehabilitación.</p>	<p><b>MUESTRA:</b> BFR-RT (n=14) o HL-RT (n=14)</p> <p><b>MODALIDADES :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El grupo HL-RT : 3x10 repeticiones de ejercicio de prensa de pierna unilateral a lo largo de un ROM de 0-90 al 70% 1RM.</li> <li>- El grupo BFR-RT : 4 series (30, 15, 15 y 15 repeticiones) de ejercicio de prensa de 30 segundos entre series a lo largo de un ROM de 0-90 al 30% de 1RM. presión total de oclusión arterial de la extremidad (LOP).</li> </ul> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><u>Dolor de rodilla (escala de Borg):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sesión de dolor de rodilla:</li> <li>• La media del dolor de rodilla en la sesión fue menor en el grupo BFR-RT en todas las sesiones (todas <math>p &lt; 0,05</math>, media d 1/4 2,5 (IC 95%: 2,2 a 2,8))</li> <li>- Dolor de rodilla 24 h después del entrenamiento:</li> <li>• La media del dolor de rodilla tras el entrenamiento fue menor en el grupo BFR-RT temporales (todos <math>p &lt; 0,01</math>, media d 1/4 3,1 (IC 95%: 2,9 a 3,3)).</li> </ul> <p><u>Dolor muscular (escala de Borg):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El dolor muscular medio fue significativamente mayor (<math>p &lt; 0,05</math>) en el grupo BFR-RT en todas las sesiones.</li> </ul> <p><u>RPE: Calificación del esfuerzo percibido (escala de Borg):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En el grupo BFR-RT, la media de RPE alcanzó un máximo de <math>15,8 \pm 2,0</math> en la sesión 16 (<math>p &gt; 0,05</math>). En el grupo HL-RT, la media de RPE alcanzó un máximo de <math>16,5 \pm 2,0</math> en la sesión 16 (<math>p &gt; 0,05</math>). Excepto en las sesiones 8-9, en las que hubo un aumento.</li> <li>• En total, la RPE se mantuvo sin cambios (<math>p &gt; 0,05</math>) tanto para la BFR-RT como para la HL-RT.</li> </ul>
Artículo 4 <sup>21</sup>	<p>Comparar las respuestas agudas de percepción y presión arterial al:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejercicio de resistencia</li> <li>- restricción del flujo</li> </ul>	<p><b>MUESTRA:</b> 30 pacientes repartidos en 3 grupos: un grupo no lesionado con BFR, un grupo lesionado con BFR y un grupo lesionado con alta carga (HL).</p> <p><b>MODALIDADES:</b> Presa unilateral dos veces a la semana:</p>



	<p>sanguíneo con carga ligera (BFR-RE) en individuos no lesionados y en pacientes de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR)</p> <p>-El ejercicio de resistencia de restricción del flujo sanguíneo con carga ligera y el ejercicio de resistencia con carga pesada (HL-RE) en pacientes con ACLR.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo HL-RT: 70% 1RM, 3 series de 10 repeticiones con descanso de 30 segundos</li> <li>- Grupo BFR-RT: 30% 1RM y un LOP de 80%, 4 series de 30/15/15/15 con descanso de 30 segundos</li> </ul> <p>Las medidas se hacen en diferentes tiempos: Preoperatorio, postoperatorio, y a las 8 semanas.</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><u>RPE (escala de Borg) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La RPE fue mayor en el grupo ACLR-BFR en comparación con el grupo NI-BFR, un 95%: 5,975, p &lt; 0,01).</li> <li>• No hubo diferencias en la RPE entre el grupo ACLR-BFR y el ACLR-HL (diferencia media: 0,05).</li> <li>• No hubo diferencias en la RPE entre los grupos ACLR-HL y NI-BFR (diferencia media: 0,05)</li> </ul> <p><u>Dolor muscular (escala de Borg) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El dolor muscular fue mayor en el grupo ACLR-BFR en comparación con el grupo NI-BFR (95%: 0,292 a 5,058, p &lt; 0,05).</li> <li>• El dolor muscular fue mayor en el grupo ACLR-BFR en comparación con el grupo ACLR-HL (95%: 2,942 a 7,758, p &lt; 0,01).</li> <li>• El dolor muscular fue mayor en el grupo NI-BFR en comparación con el grupo ACLR-HL (95%: 0,242 a 5,058, p &lt; 0,05).</li> </ul> <p><u>Dolor de rodilla (escala de Borg):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El dolor de rodilla fue menor en el grupo ACLR-BFR en comparación con el grupo NI-BFR (95%: -1,890 a -0,750, p &lt; 0,01)</li> </ul>
<p>Artículo 5<sup>22</sup></p>	<p>El objetivo fue evaluar la eficacia de un programa de ejercicios de 4 semanas, basado en casa programa de ejercicios BFR para aumentar el tamaño, la fuerza y la simetría del cuádriceps fuerza y simetría varios años después de una reconstrucción de cruzado anterior.</p>	<p><b>MUESTRA:</b> 2 grupos: un grupo con pacientes operados de cruzado anterior hace más de 2 años y otro grupo con pacientes no lesionados.</p> <p><b>MODALIDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo control = nada</li> <li>- ACLR=aplicación de BFR a 50% de LOP combinado con ejercicios</li> </ul> <p>El grupo ACLR realizaba ejercicios de BFR en casa 5 veces por semana durante 4 semanas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 × 30 extensiones de rodilla con una sola pierna utilizando únicamente la pierna operada.</li> <li>- 3 × 30 medias sentadillas de peso corporal.</li> <li>- 3 × 2 minutos a la velocidad de marcha preferida.</li> </ul> <p>Se ha previsto un descanso entre las series (1 min) y los ejercicios (2 min).</p>

		<p>Medida del grosor del recto femoral y del vasto lateral y la fuerza extensora de la rodilla. Los ejercicios, se evaluaron de nuevo. Los índices de simetría iniciales y posteriores al entrenamiento se compararon con los valores iniciales de los controles no lesionados.</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><u>Morfología muscular y fuerza:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El ejercicio de BFR aumentó el grosor del recto femoral y del vasto lateral, así como la fuerza extensora de la rodilla medida en la pierna implicada en comparación con la pierna no implicada.</li> <li>• La asimetría en las medidas de grosor muscular y fuerza extensora de la rodilla se redujo (96-99 %) se acercaron mucho más a los de los controles no lesionados (99-101 %).</li> <li>• Tras 4 semanas de ejercicio de BFR, el grosor del recto femoral y del vasto lateral aumentó respectivamente, y también aumentó la fuerza extensora de la rodilla en un 20 %.</li> </ul>
Artículo 6 <sup>23</sup>	<p>Los objetivos de este estudio eran determinar si la BFR proporciona beneficios adicionales cuando se añade a la rehabilitación estándar en pacientes jóvenes y activos después de la reconstrucción del LCA en lo que respecta a la preservación del hueso, la recuperación del músculo y la recuperación de la función física.</p>	<p><b>MUESTRA:</b> 14 adultos jóvenes activos (M=8, F=6) 2 grupos: (CONTROL, n=7 y BFR, n=7) que realizaron 12 semanas de rehabilitación con BFR.</p> <p><b>MODALIDADES:</b> - Ambos grupos realizaron el mismo protocolo de rehabilitación. Cinesioterapia bilateral de piernas (semana 3-12), prensa excéntrica de piernas (semana 4-12), curl de piernas isquiotibiales (semana 7-12). El grupo de grupo BFR se ejercitó con un 80% de oclusión arterial y 20% RM. Los ejercicios se realizaron en 15 repeticiones separadas por 30s de descanso.</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><u>LM: Lean mass</u> (masa magra)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ambos grupos presentaron disminuciones similares respecto a las mediciones preoperatorias (p&lt;0,05), y la masa magra total siguió disminuyendo en la semana 12 (p&lt;0,05) en el grupo BFR.</li> <li>• La masa magra de toda la pierna en el miembro lesionado disminuyó en el grupo BFR en la semana 6 como en la 12 (p&lt;0,05).</li> <li>• La masa magra del muslo disminuyó en ambos grupos en la semana 6, pero no hubo diferencias en la comparación con el grupo BFR, y siguió disminuyendo sólo en el grupo CONTROL.</li> <li>• La masa ósea de toda la pierna disminuyó en el grupo BFR en la semana 6 y en ambos grupos en la semana 12.</li> <li>• En el grupo CONTROL se observó una disminución de la DMO en el fémur distal y el peroné proximal en la semana 6 y en la 12 (p&lt;0.05).</li> <li>• Ambos grupos demostraron mejoras similares en la distancia de sentadillas con un pie en el suelo y una pierna desde la semana 8 hasta la semana 12 de rehabilitación (p&lt;0,05).</li> </ul>
Artículo 7 <sup>24</sup>	<p>Examinar la eficacia de la BFR Resistance Training (BFRT) con</p>	<p><b>MUESTRA:</b> Pacientes repartidos en 4 grupos: un grupo con ejercicios concéntrico, un grupo con ejercicios de BFR</p>

	<p>ejercicios de alta intensidad en la recuperación de la función muscular del cuádriceps en pacientes sometidos a reconstrucción de cruzado anterior.</p>	<p><b>MODALIDADES:</b> Presa isocinética a 70% 1RM 2 veces a la semana con 4 series de 10</p> <p>El BFR se aplica con un 80% de LOP Las medidas se hacen en diferentes tiempos: Preoperatorio, postoperatorio, a las 2 semanas)</p> <p><b>VARIABLES:</b> <u>Torque máximo isocinético e isotónico</u> (60 deg/s)  <ul style="list-style-type: none"> <li>No hay diferencias significativas entre todos los grupos en todos los periodos.</li> </ul> <u>Activación del cuádriceps con dinamómetro</u> (Biodex System 3 dynamometer), No hay diferencias entre grupos  <u>Volumen del recto femoral por ultrasonidos.</u> No hay diferencias entre grupos</p>
<p>Artículo 8<sup>25</sup></p>	<p>El objetivo del estudio era determinar si el entrenamiento con BFR mejora la fuerza y la cantidad de músculo después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.</p>	<p><b>MUESTRA:</b> 44 pacientes fueron divididos aleatoriamente en 2 grupos: grupo de control (n = 22), y otro grupo con restricción del flujo sanguíneo (grupo R, n = 22).</p> <p><b>MODALIDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Primera semana: tanto el grupo R como el grupo N realizaron ejercicios sin restricción</li> <li>Segunda semana, el grupo R comenzó a realizar ejercicios con restricción del flujo sanguíneo</li> <li>Elevación de la pierna recta, abducción de la articulación de la cadera y aducción de la pierna izquierda 6 segundos x 20 veces (2 series diarias, 6 veces por semana durante las semanas 1-2 después de la cirugía).</li> <li>Media sentadilla 6 segundos, step-up, repetido 20 veces (2 series diarias, 6 veces por semana durante las semanas 3-4 después de la cirugía).</li> <li>El ejercicio del tubo elástico se realizó doblando la rodilla de 45 a 100°, repetido 20 veces (2 series diarias, 6 veces por semana durante las semanas 5-8 después de la cirugía).</li> <li>El ejercicio de marcha con flexión de rodilla se realizó caminando en posición de marcha normal, 6 veces por semana durante las semanas 13-16 después de la cirugía.</li> </ul> <p><b>VARIABLES:</b> <u>Momento de fuerza muscular de los músculos extensores y flexores de la rodilla:</u> Antes de la cirugía, las ratios del lado lesionado con respecto al lado sano (ratio lesionado/sano) de la rodilla eran aproximadamente los mismos en los 2 grupos.  <ul style="list-style-type: none"> <li>A las 16 semanas después de la cirugía, las ratios correspondientes diferían significativamente en las mediciones.</li> </ul> <u>Área de la sección transversal de los grupos musculares del fémur:</u> Antes de la cirugía, las proporciones de la sección transversal de los grupos musculares del fémur (aductores y abductores) eran similares.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A las 16 semanas después de la cirugía, las relaciones preoperatorias/postoperatorias de músculos extensores de la rodilla en el lado operado diferían significativamente de la rodilla + aductores eran similares.</li> </ul> <p><u>Diámetro de la fibra muscular individual evaluado por tipo de fibra:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16 semanas después de la cirugía, los diámetros cortos de las fibras de tipo 1 y 2 en el grupo R que en el grupo N, aunque las diferencias no eran significativas.</li> </ul>
Artículo 9 <sup>26</sup>	El objetivo de este estudio era repetir estos prometedores resultados (el área anatómica de la sección transversal del cuádriceps (ACSA) ) en una población de atletas durante los primeros 16 días después de la reconstrucción del LCA.	<p><b>MUESTRA:</b> 24 pacientes : 12 pacientes (7 hombres, 5 mujeres) fueron asignados al azar a los ejercicios (grupo de oclusión), y 12 pacientes (7 hombres, 5 mujeres) fueron asignados al grupo de control)</p> <p><b>MODALIDADES:</b> a partir del segundo día después de la cirugía, el grupo de oclusión realizó los ejercicios de seguimiento de la retirada de la presión oclusiva durante 3 minutos (cinco veces, X2 al día).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durante el período de estímulo oclusivo, los sujetos realizaron 20 ejercicios de protocolo de aplicación de BFR (30-15-15-15)).</li> <li>- El grupo de control siguió el mismo protocolo de ejercicios, pero sin el estímulo oclusivo.</li> </ul> <p>Los cambios en el área anatómica de la sección transversal del cuádriceps (ACSA) fueron evaluados por resonancia magnética (RM) axial al 40% y al 50% de la longitud del fémur.</p> <p><b>VARIABLES:</b></p> <p><u>ACSA:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En la línea de base, 2 días antes de la cirugía, no hubo diferencias estadísticas entre los grupos. Desde 2 días antes de la cirugía hasta 16 días después de la misma, la pérdida de la ACSA del cuádriceps tanto en el grupo de oclusión (<math>p &lt; 0,0001</math>) como en el grupo de control (<math>p &lt; 0,0001</math>).</li> <li>• La resonancia magnética tomada al 40% de la longitud del fémur mostró una reducción de la ACSA (media <math>\pm</math> SEM) y <math>-9,2 \pm 0,8</math> cm<sup>2</sup> para los grupos de oclusión y control, respectivamente.</li> <li>• La RM tomada en el punto medio del fémur mostró una reducción del ACSA del cuádriceps para los grupos de oclusión y control, respectivamente.</li> <li>• El cambio medio en la ACSA del cuádriceps (40% y 50% de la longitud del fémur) fue similar para los grupos de oclusión y control, respectivamente.</li> <li>• Por lo tanto, no hubo diferencias significativas en la pérdida de ACSA del cuádriceps después de la intervención (<math>p = 0,6265</math>).</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

### 4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Hughes L, et al.<sup>18</sup> tenían como objetivo en este artículo de comparar la eficacia de una rehabilitación de una RLCA mediante ejercicios con alto peso (grupo HL-RT) (comúnmente usados) frente a la aplicación de medida de oclusión combinada con pesos bajos (grupo BFR-RT). 28 participantes han sido repartidos aleatoriamente en los dos grupos para realizar presa unilateral de pierna durante las 8 semanas postoperatorios, pero con dos modalidades diferentes: el grupo HL-RT realizaban 3 series de 10 repeticiones a un 70% de 1RM aunque el grupo BFR-RT tenían que realizar 4 series de 30,15,15 y 15 repeticiones respectivamente. Medidas de variables objetivas (10RM, fuerza isocinética, morfología muscular, rango de movilidad articular, derrame articular, laxitud) y subjetivas (función física, dolor de rodilla, percepción del esfuerzo) se realizó en el preoperatorio, postoperatorio, a las cuatro semanas y en el fin del protocolo.

A las 8 semanas, 24 pacientes completaron el protocolo y con la obtención de las últimas medidas de las diferentes variables, los autores concluyeron que el BFR conduce a resultados significativos en cuanto a la mejoría de la hipertrofia como de la fuerza, pero sin diferencia entre los grupos. Por otro lado se encontró mejores resultados a nivel del dolor y el derrame articular desencadenando en una mejor función física.

Kacin A, et al.<sup>19</sup> estudiaron la eficacia del entrenamiento con BFR para aumentar la función muscular y el tamaño de los músculos en pacientes postquirúrgica de LCA. Incluyeron 12 pacientes entre 18 y 45 años, de estos, 6 fueron asignados a un grupo que recibieron el protocolo de rehabilitación con BFR y otros 6 pacientes constituyeron un grupo control. El programa de entrenamiento dura 3 semanas con 3 sesiones a la semana. Los pacientes realizaron ejercicios de flexión y extensión de rodilla (40% 1RM) con una presión de oclusión de 150mmHg y una cinta de 13,5cm de anchura. El grupo control realizaba el mismo programa de ejercicio (4x10 repeticiones de cada ejercicio) pero sin restricción del flujo sanguíneo.

En cuanto a los resultados, el momento de fuerza de los extensores de la rodilla, fue significativamente mayor en BFR en comparación con SHAM-BFR, pero sin diferencia significativa en los flexores. Luego, el cambio en el CSAquad y la disminución de fatiga fueron significativamente mayor en BFR en comparación con el grupo control, pero sin diferencia significativa en los isquiotibiales. Por último, sobre el tema de la repuesta transcripcional, la expresión de ARNm de HIF-1 $\alpha$  en el vasto lateral se redujo en el SHAM-BFR, mientras que el ARNm de VEGF-A tendió a ser mayor en el BFR.

Para concluir, el entrenamiento con BFR es especialmente eficaz para el acondicionamiento de los extensores de la rodilla en esta población, con un aumento significativo de la fuerza y de la resistencia en este grupo de musculo.

Hughes L, et al.<sup>20</sup> decidieron examinar si las respuestas de esfuerzo percibido, el dolor muscular y dolor en la articulación de la rodilla a la BFR-RT en pacientes con ACLR se alteran después de múltiples sesiones de entrenamiento, pero también comparar si estas respuestas

son similares a las observadas con la HL-RT a través de un programa de entrenamiento de rehabilitación. Incluyeron 28 pacientes entre 22 y 36 años, de estos, 14 fueron asignados al grupo BFR-RT y otros 14 a un grupo que recibieron el entrenamiento HL-RT. El programa de entrenamiento dura 8 semanas con 2 sesiones a la semana. Realizaron principalmente ejercicios de prensa unilateral con la pierna afectada. Las modalidades del entrenamiento HL-RT (3 series de 10 repeticiones, 70% RM) son diferentes de entrenamiento BFR-RT (4 series de 30, 15, 15, 15 repeticiones, 30% RM) con el BFR que se aplicó de forma continua al 80% de la presión total de oclusión arterial de la extremidad (LOP).

En cuanto a los resultados, los pacientes de ACLR experimentaron menos dolor en la articulación de la rodilla y reportaron calificaciones similares de esfuerzo percibido durante y después del ejercicio de prensa de piernas con BFR-RT en comparación con el HL-RT tradicional. El BFR-RT puede ser más ventajoso durante las primeras fases de la rehabilitación postoperatoria de la ACLR.

Hughes L, et al.<sup>21</sup> en este artículo los autores quieren evaluar la respuesta perceptual y la presión sanguínea en 3 condiciones diferentes: un grupo no lesionado con BFR (NI-BFR), y dos otros grupos de pacientes que han sufrido una ACLR, uno trabajado con alto peso (HL-RT) y el otro utilizando BFR con pesos bajos (BFR-RT). El ejercicio y sus modalidades según los grupos son iguales a las de dos otros artículos<sup>18,20</sup>. En este sentido, se midió variables como la presión sanguínea y las variables perceptuales que son: el dolor articular, muscular y el esfuerzo percibido. Estas medidas se hicieron con las escalas de Borg del esfuerzo percibido (RPE) y de dolor (RPP). El esfuerzo percibido fue similar entre los grupos HL-RT y BFR-RT. En cuanto al dolor muscular, es más importante cuando se aplica el BFR, siendo aun mayor en el grupo muscular. Por último, el dolor de rodilla era menor en el grupo BFR-RT que en el grupo HL-RT.

Con los datos recogidos, los autores concluyen que la aplicación de BFR y de cargas más ligeras que normalmente no es un factor limitante durante la rehabilitación. Además parece tener una influencia positiva en cuanto al dolor de rodilla durante el entrenamiento.

Kilgas MA, et al.<sup>22</sup> tenían como objetivo en este artículo de ver si el BFR puede ayudar en la rehabilitación después de una ACLR, pero se enfoca más precisamente en las debilidades o deficiencias que quedan años después de la cirugía. Por eso, se crearon dos grupos: un grupo de pacientes que han sufrido una ACLR hace 2 años o más realizando un programa de ejercicio con el BFR puesto en la rodilla operada, en domicilio 5 veces por semana durante 4 semanas (los ejercicios incluyen sentadillas, extensión de rodilla con banda elástica y marcha). El otro grupo era un grupo control de personas lesionadas solo para tener datos de referencia. Estos datos en cuestión eran: del grosor del recto femoral y del vasto lateral (junto con la simetría de las dos piernas) y la fuerza extensora de la rodilla. Estas medidas se tomaron en los dos grupos antes de la intervención y después. En los resultados se ha visto que el tamaño muscular había aumentado en mayor medida en la pierna que llevaba la oclusión. Además los índices de simetría de piernas se acercaron mucho más a los datos de

referencia del grupo control junto con un aumento de la fuerza. Con este estudio, los autores han concluido que el ejercicio con BFR sí que aumenta la fuerza y el tamaño de los músculos de la rodilla, pero sobre todo lo permite con ejercicios simples, seguros y sin carga, reproducible en casa.

Lambert B, et al.<sup>23</sup> determinaron si la BFR proporciona beneficios adicionales cuando se añade a rehabilitación estándar en pacientes jóvenes y activos después de la reconstrucción del LCA (10 días después de la cirugía) en lo que respecta a la preservación del hueso, recuperar el músculo y recuperar la función física. El estudio incluyó 14 adultos jóvenes activos (M=8, F=6) entre 16 y 30 años, y fueron asignados en 2 grupos : CONTROL, (n=7) y BFR (n=7) que realizaron 12 semanas de rehabilitación comenzando a los 10 días del postoperatorio. Ambos grupos realizaron el mismo protocolo de rehabilitación con varios ejercicios (Contracciones de cuádriceps, prensa bilateral/excéntrica, curl de isquiotibiales/excéntrico) que cambiaron a lo largo de las 12 semanas. El grupo BFR se ejercitó con un 80% de oclusión arterial y 20% RM. Los ejercicios se realizaron durante 4 series de 30-15-15-15 repeticiones separadas por 30s de descanso.

En cuanto a los resultados, al nivel de la masa magra, observaron una disminución de la masa magra total en las 6 y 12 semanas en ambos grupos. Mientras que la masa magra de toda la pierna en el miembro lesionado y la masa magra del muslo disminuyó solo en el grupo control tanto en la semana 6 y 12. Luego, al nivel de la masa ósea de toda la pierna, disminuyó en el grupo CONTROL en la semana 6 y en ambos grupos en la semana 12. Entonces, además de recuperar el músculo en mayor medida que la rehabilitación estándar por sí sola, la adición de BFR a los ejercicios de rehabilitación del LCA parece tener un efecto protector sobre el hueso.

Curran MT, et al.<sup>24</sup> quieren analizar si la aplicación de BFR con alta cargas puede tener efectos positivos en cuanto a la función del cuádriceps después de una ACLR. 38 pacientes han sido repartidos en 4 grupos: dos grupos donde se aplica el BFR (n=18) y dos grupos sin BFR (n=16). Cada modalidad era subdividida en 2 otros grupos: excéntrico y concéntrico para dar al final 4 grupos. Cada grupo realizaba presa isocinética a 70% de 1RM, con 4 series de 10 repeticiones 2 veces a la semana durante 8 semanas. Las variables medidas eran el torque máximo isocinético e isotónico, la activación del cuádriceps y el volumen del recto femoral. Después del análisis de los resultados, no se encontró diferencias significativas entre los grupos.

Los autores han llegado a la conclusión que el BFR no llevaba efectos añadidos dentro de ellos protocolo, y que tendría que comprobar con otras modalidades de intensidad y/o frecuencia.

Ohta H, et al.<sup>25</sup> determinaron si el entrenamiento con BFR mejora la fuerza y la cantidad de músculo después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. El estudio incluyó a 44 pacientes que fueron divididos aleatoriamente en 2 grupos: grupo de control (con la forma habitual de rehabilitación) (n = 22), y otro grupo con restricción del flujo sanguíneo (n = 22). Realizaron ejercicios durante 16 semanas de elevación de la pierna recta, abducción y aducción de la cadera , media sentadilla ; step-up y marcha, 2 series diaria (20 repeticiones) 6

veces a la semana. El grupo BFR realizó los ejercicios con una presión de oclusión de 180mmHg.

En cuanto a los resultados, se vi un aumento de los momentos de fuerza extensores y flexores de la rodilla, del área transversal de los músculos extensores en el grupo BFR, 16 semanas postoperatoria. Además, los diámetros cortos de las fibras de tipo 1 y 2 del vasto lateral tendían a ser mayores en el grupo BFR aunque las diferencias no eran significativas.

Iversen E, et al.<sup>26</sup> repitieron previos resultados sobre el área anatómica de la sección transversal del cuádriceps (ACSA) en una población de atletas durante los primeros 16 días después de la reconstrucción del LCA. Incluyeron a 24 pacientes asignados al azar en un grupo de oclusión (n=12) y control (n=12). Los sujetos realizaron 20 ejercicios de baja carga para el cuádriceps durante 2 semanas con 5 sesiones a la semana (con una presión de oclusión de 180 mmHg, pero no sigue el protocolo de aplicación de BFR (30-15-15-15)). El grupo de control siguió el mismo protocolo de ejercicios, pero sin el estímulo oclusivo.

En cuanto a los resultados, ambos grupos tuvieron una reducción significativa del ACSA del cuádriceps desde 2 días antes de la intervención hasta 16 días después de la misma. Durante el periodo de intervención, tanto el grupo de oclusión y el grupo control perdieron casi el mismo valor de ACSA del cuádriceps y no hubo diferencias significativas entre los dos con respecto a la atrofia de los músculos del cuádriceps.

## 5 DISCUSIÓN

### **FUERZA:**

Hughes L, et al.<sup>18</sup>, Kacin A, et al.<sup>19</sup>, Ohta H, et al.<sup>25</sup> estudiaron el “peak torque” o momento de fuerza con grupos sometidos al BFR y un grupo control que realizaron un programa de entrenamiento HL-RT<sup>18</sup> o una simulación de BFR (SHAM-BFR)<sup>19,25</sup>.

Ohta H, et al.<sup>25</sup> demostraron una recuperación significativa de la fuerza muscular con BFR pero 4 meses después de la cirugía para los flexores como los extensores, lo que se demostró también en dos artículos más<sup>18,19</sup> pero en un tiempo más próximo a la cirugía. Sin embargo, en lo que respecta al artículo de Hughes L, et al.<sup>18</sup>, que respeta el protocolo de entrenamiento de la BFR (30/15/15/15), sólo los flexores de la rodilla muestran resultados convincentes en cada una de las mediciones realizadas, mientras que los extensores de la rodilla dan una disminución significativa del momento de fuerza sólo en 2 mediciones (a 150°/s y 300°/s). Para Kacin A, et al.<sup>19</sup>, los resultados están a favor del entrenamiento con BFR, ya que el estudio compara el mismo programa de entrenamiento en 2 grupos, uno con BFR y otro con un BFR simulado. Los resultados obtenidos dan para los extensores de la rodilla un mejor momento de fuerza en todas las mediciones (a 60°/s y 120°/s) pero sólo un mejor trabajo total para los flexores de la rodilla, donde el momento de fuerza en cada medición aumenta de la misma manera sin diferencias significativas. Los tres estudios<sup>18,19,25</sup> demuestran que el entrenamiento



BFR es especialmente eficaz para el entrenamiento de la fuerza de los extensores o flexores de la rodilla teniendo en cuenta las modalidades de entrenamiento, pero también frente a un método de entrenamiento tradicional como el HL-RT.

En todos nuestros artículos, la fuerza se calcula también de otra manera, utilizando el 10 RM SCALED, que consiste en comparar la fuerza desarrollada por el paciente con el sistema de 1RM antes y después del programa de entrenamiento. Así, Hughes L, et al.<sup>18</sup>, Kilgas MA, et al.<sup>22</sup> son favorables al aumento de la fuerza, sin embargo, en el postoperatorio e incluso 8 semanas después. Permite afirmar que existe un aumento de la fuerza en los sujetos sometidos a ACLR, pero que no es significativo frente al entrenamiento clásico HL-RT. Kilgas MA, et al.<sup>22</sup> nos permiten decir que el BFR también es eficaz en la recuperación de la fuerza en los extensores de la rodilla, ya que compara directamente la pierna afectada con la pierna sana. Además de esta información, es importante señalar que el programa de entrenamiento BFR reduce las asimetrías en términos de fuerza entre las dos extremidades, pero también las acerca al grupo de control sano.

De hecho, parece que el entrenamiento BFR es eficaz en la rehabilitación de la ACLR, ya que las ganancias de fuerza parecen aumentar en ambos grupos o incluso de forma significativa en el grupo BFR, y esto es aún más revelador cuando se compara con un grupo sometido a un entrenamiento HL-RT, en el que los pacientes son sometidos a cargas más del doble de altas (30% 1RM para los grupos BFR frente al 70% 1RM para el grupo HL-RT). Los artículos que comparan grupos de BFR y no BFR que realizan los mismos programas muestran la eficacia pura de la BFR, a pesar de que no se aplican los protocolos clásicos de BFR, por lo que se deduce que la BFR aumenta las ganancias de fuerza en comparación con el ejercicio clásico. En efecto, a menor intensidad las ganancias son iguales y a igual intensidad son mayores.

### **MORFOLOGÍA MUSCULAR:**

Hughes L, et al.<sup>18</sup>, Kacin A, et al.<sup>19</sup>, Lambert B, et al.<sup>23</sup>, Ohta H, et al.<sup>25</sup>, Iversen E, et al.<sup>26</sup> estudiaron toda la eficacia del BFR en cuanto a la hipertrofia, comparando diferentes grupos sometidos al BFR o no, y además a un programa de HL-RT o al mismo entrenamiento que el grupo BFR. Los resultados de los estudios son similares ya que Kacin A, et al.<sup>19</sup> nos muestran que el área de la sección transversal del músculo es mayor para el cuádriceps mientras que los incrementos para los grupos de isquiotibiales son similares entre los dos grupos, a la tercera semana, al igual que dos artículos más (Iversen E, et al.<sup>26</sup> y Ohta H, et al.<sup>25</sup>) pero esta vez a los 16 días y 16 semanas respectivamente. Lambert B, et al.<sup>23</sup>, demostraron que la masa magra del muslo disminuye sólo en el grupo de control sometido a los mismos ejercicios tanto en la semana 6 como en la 12. Sólo Hughes L, et al.<sup>18</sup> nos dan resultados ligeramente diferentes, ya que muestran un aumento del tamaño del músculo, del ángulo de penación y de la longitud del fascículo en la semana 8, pero no es significativo en comparación con el grupo HL-RT.

Por lo tanto, parece que el ejercicio de BFR mejora la hipertrofia muscular después de la ACLR, ya que tiende a aumentar el tamaño del músculo del cuádriceps, principalmente en comparación con el grupo de los isquiotibiales, donde los resultados suelen aumentar, pero son menos significativos en 3 de los estudios. Por otro lado, es interesante observar que el BFR permite aumentar la hipertrofia muscular de la misma manera que el entrenamiento HL-RT, pero utilizando más de la mitad de la carga, lo que conlleva un real ventaja mecánica ya que el estrés mecánico se ve disminuido.

Además, una variable del estudio de Hughes L, et al.<sup>18</sup> es especialmente interesante, ya que se correlacionaría directamente con la hipertrofia, desde un punto de vista fisiológico. De hecho, la respuesta transcripcional tras un programa de entrenamiento bajo BFR parece aumentar la expresión de factores de crecimiento como HIF o VEGF A, y esto podría explicarse por el hecho de que el estrés metabólico aumenta y compensa el estrés mecánico reducido, para permitir la hipertrofia.

### ***DOLOR MUSCULAR***

La intensidad del dolor muscular corresponde a un nivel de fatiga del músculo durante el ejercicio. Hughes L, et al.<sup>21</sup> han destacado que entre dos grupos utilizando BFR, el dolor muscular fue mayor en el grupo lesionado con una diferencia de 2.7 puntos en la evaluación ( $p < 0.05$ ). Pero por otro lado se destacó también que el entrenamiento con BFR frente al entrenamiento con altas cargas siempre lleva más dolor muscular; de manera importante comparando los dos grupos lesionados (5 puntos de diferencia,  $p < 0.01$ ); pero también cuando el grupo que utiliza BFR no está lesionado aunque el grupo utilizando altas cargas si (3 puntos de diferencia,  $p < 0.05$ ). Estos resultados coinciden con los resultados de Hughes L, et al.<sup>20</sup> donde se ve también un dolor muscular significativamente más importante en el grupo utilizando BFR. Estas medidas constituyen marcadores del estrés metabólico provocado por la oclusión, lo que se puede traducir en un esfuerzo muscular mayor aunque la intensidad es inferior.

Aunque se trata de una variable subjetiva, la comparación de los resultados entre artículos es relevante ya que los dos utilizan la misma escala de valoración (Borg, 1998).

### ***ESFUERZO PERCIBIDO***

El esfuerzo muscular fue medido a través de la RPE en dos artículos<sup>20 y 21</sup> y no se notó diferencias entre BFR y trabajo con altas cargas, lo que quiere decir que el esfuerzo percibido con el BFR fue igual al de un ejercicio con una intensidad más de dos veces superior. Estos resultados son coherentes en cuanto a lo que se destacó a nivel del dolor muscular y sugiere que el BFR permite crear un esfuerzo o intensidad similar pero con mucho menos carga. Una limitación en estas variables es que son variables subjetivas. En este sentido, sería interesante intentar medir estos dos parámetros mediante herramientas objetivas.

Otra vez, se trata de una variable subjetiva, la comparación de los resultados entre artículos es relevante ya que los dos utilizan la misma escala de valoración (Borg, 1998)

### **DOLOR ARTICULAR**

En cuanto al dolor de rodilla, o dolor articular, en el artículo de Hughes L, et al.<sup>20</sup> se ve que el dolor articular era significativamente inferior en el grupo con BFR, durante y después de las sesiones y en todas las sesiones. Se encontraron resultados similares en dos artículos más<sup>18,21</sup>, con el mismo método de evaluación. Podemos interpretar que un dolor menos importante en las articulaciones lo permite el protocolo BFR ya que utiliza intensidades más bajas, reduciendo de esta manera el estrés mecánico sobre la articulación y sus estructuras. Dentro de esta variable, dos escalas de valoración diferentes son utilizadas. En efectos dos de los artículos comparados<sup>20,21</sup> utilizan la escala de Borg aunque el otro artículo<sup>18</sup> mide el dolor mediante la escala KOOS.

### **VARIABLES AISLADAS**

En el artículo de Hughes L, et al.<sup>18</sup> se encontraron 4 variables adicionales que nos han parecido interesantes:

#### **ROM**

En efecto se midió el ROM, comparado las dos piernas, y la diferencia de ROM disminuyó significativamente más en el grupo utilizando BFR que con el que utiliza cargas altas.

#### **Hinchazón**

Además eso se correlaciona con la medida de la hinchazón (circunferencia medio-patelar) que era mucho menor en el grupo BFR. Podemos interpretar que a través del estrés mecánico que esta inferior en el grupo BFR, la articulación sufre menos tensión lo que reduce la inflamación y mejora el rango de movilidad.

#### **Laxitud**

Además se ha medido también la laxitud mediante un artrómetro comparándolo otra vez con la pierna sana. Este parámetro también mejora de manera significativa en el grupo con BFR, y podemos pensar en este sentido que otra vez el estrés mecánico reducido ha sido un factor protector de la cirugía.

#### **Función**

Por último, se valoró la función mediante el SEBT, y todos los alcances en las pruebas habían mejorado significativamente más en el grupo BFR. Este último parámetro se relaciona con los 3 anteriores, en efecto podemos decir que una rodilla menos hinchada, con un mayor ROM y una mejor estabilidad es una rodilla más funcional.

Estas 4 variables entonces parecen ser claves en el éxito de una rehabilitación de LCA, obtienen mejores resultados a través del protocolo con BFR y además son variables objetivas.

Desafortunadamente, los hemos encontrados en un solo artículo, con lo cual sería interesante conducir otros estudios que incluyen estas variables.

Más adelante, la aplicación del BFR podría tener un campo de aplicación más amplio en cuanto a la lesión, las capacidades físicas y la edad, particularmente en individuos que no tienen la capacidad física de realizar un entrenamiento de alta intensidad.

## 5.1 LIMITACIONES

A lo largo de la investigación, se encontró algunas limitaciones en el desarrollo del trabajo. La dificultad para encontrar artículos uniformes (RCT, artículos con dos protocolos, protocolos de BFR iguales...) fue el primero obstáculo que encontramos en el momento de la búsqueda. Más adelante hemos podido sacar un número de variables grande pero de las cuales pocas eran comunes entre artículos, con lo cual la dificultad para comparar todas las variables ha sido una limitación más, dejando algunas variables "aisladas". Además, como visto en la discusión, dentro de estas variables, como el dolor, son variables subjetivas y que no son siempre medidas con las mismas escalas. Por último, debido a la falta de artículos, no se pudo diferenciar ligamento cruzado operado y no operado.

## 6 CONCLUSIÓN

1. En una misma intensidad, el entrenamiento combinado con BFR resulta más eficaz en cuanto a las ganancias de fuerza e hipertrofia, lo que cumple nuestro objetivo principal.
2. - Un protocolo de BFR aplicado a baja intensidad frente a un entrenamiento de alta intensidad clásico tendrá efectos similares en el músculo dentro de una rehabilitación de LCA.  
- Además, la aplicación de este protocolo lleva la ventaja de reducir el estrés mecánico disminuyendo el dolor articular lo que parece ser un factor protector de la lesión y de la cirugía sobre todo en las primeras fases de rehabilitación.  
Son dos puntos que cumplen nuestros objetivos secundarios.
3. La hipótesis planteada se confirma porque el BFR tiene efectos añadidos a través del estrés metabólico lo que desencadena mecanismos fisiológicos, circulatorios y hormonales lo que sobre estimula el desarrollo muscular mientras que disminuye el estrés mecánico.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

1. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2006 [citado el 24 de marzo de 2022];14(3):204–13. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16235056/>
2. Śmigielski R, Zdanowicz U, Drwięga M, Ciszek B, Williams A. The anatomy of the anterior cruciate ligament and its relevance to the technique of reconstruction. *Bone Joint J* [Internet]. 2016 [citado el 24 de marzo de 2022];98-B(8):1020–6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27482012/>
3. Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee ligament anatomy and biomechanics. *Sports Med Arthrosc* [Internet]. 2020 [citado el 24 de marzo de 2022];28(3):80–6. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32740458/>
4. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med* [Internet]. 2017 [citado el 24 de marzo de 2022];36(1):1–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27871652/>
5. Cimino F, Volk BS, Setter D. Anterior cruciate ligament injury: diagnosis, management, and prevention. *Am Fam Physician* [Internet]. 2010 [citado el 24 de marzo de 2022];82(8):917–22. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20949884/>
6. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg* [Internet]. 2010 [citado el 24 de marzo de 2022];18(9):520–7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5435/00124635-201009000-00003>
7. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. Mechanisms, prediction, and prevention of ACL injuries: Cut risk with three sharpened and validated tools: ACL INJURY PREVENTION. *J Orthop Res* [Internet]. 2016 [citado el 24 de marzo de 2022];34(11):1843–55. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27612195/>
8. Lin KM, Boyle C, Marom N, Marx RG. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Med Arthrosc* [Internet]. 2020 [citado el 24 de marzo de 2022];28(2):41–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32345925/>
9. Wortman RJ, Brown SM, Savage-Elliott I, Finley ZJ, Mulcahey MK. Blood flow restriction training for athletes: A systematic review. *Am J Sports Med* [Internet]. 2021 [citado el 24 de marzo de 2022];49(7):1938–44. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33196300/>
10. Planque F, Tamalet B. L'exercice avec restriction du flux sanguin (BFR) : une mode ? Une alternative ? Une méthode miracle ? L'expérience du centre médical FFF de Clairefontaine. *J Traumatol Sport* [Internet]. 2021;38(2):94–100. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jts.2021.02.002>

11. Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms behind blood flow-restricted training and its effect toward muscle growth. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2019 [citado el 24 de marzo de 2022];33 Suppl 1(1):S167–79. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30011262/>
12. Luebbers PE, Fry AC, Kriley LM, Butler MS. The effects of a 7-week practical blood flow restriction program on well-trained collegiate athletes. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2014 [citado el 24 de marzo de 2022];28(8):2270–80. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24476782/>
13. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise: Considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol* [Internet]. 2019 [citado el 24 de marzo de 2022];10:533. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2019.00533>
14. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2009 [citado el 24 de marzo de 2022];41(3):687–708. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19204579/>
15. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bemben MG. Potential safety issues with blood flow restriction training: Safety of blood flow-restricted exercise. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2011 [citado el 24 de marzo de 2022];21(4):510–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21410544/>
16. Anderson AB, Owens JG, Patterson SD, Dickens JF, LeClere LE. Blood flow restriction therapy: From development to applications: From development to applications. *Sports Med Arthrosc* [Internet]. 2019 [citado el 24 de marzo de 2022];27(3):119–23. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31361722/>
17. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med* [Internet]. 2015 [citado el 24 de marzo de 2022];45(2):187–200. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25249278/>
18. 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* [Internet]. 2019;49(11):1787–805. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-019-01137>
19. Kacin A, Drobnič M, Marš T, Miš K, Petrič M, Weber D, et al. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2021;31(8):1636–46. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/sms.13968>
20. 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* [Internet]. 2019;39:90–8. Available from:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.06.014>
21. Hughes L, Paton B, Haddad F, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Comparison of the acute perceptual and blood pressure response to heavy load and light load blood flow restriction resistance exercise in anterior cruciate ligament reconstruction patients and non-injured populations. *Phys Ther Sport* [Internet]. 2018;33:54–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.07.002>
  22. Kilgas MA, Lytle LLM, Drum SN, Elmer SJ. Exercise with blood flow restriction to improve quadriceps function long after ACL reconstruction. *Int J Sports Med* [Internet]. 2019;40(10):650–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1055/a-0961-1434>
  23. Lambert B, Hedt CA, Jack RA, Moreno M, Delgado D, Harris JD, et al. Blood flow restriction therapy preserves whole limb bone and muscle following ACL reconstruction. *Orthop J Sports Med* [Internet]. 2019;7(3\_suppl2):2325967119S0019. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/2325967119s00196>
  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* [Internet]. 2020;48(4):825–37. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0363546520904008>
  25. 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* [Internet]. 2003;74(1):62–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/00016470310013680>
  26. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci* [Internet]. 2016;5(1):115–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>
  27. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, Jacobs CA, Thompson KL, Hardy PA, et al. Effect of blood flow restriction training on quadriceps muscle strength, morphology, physiology, and knee biomechanics before and after anterior cruciate ligament reconstruction: Protocol for a randomized clinical trial. *Phys Ther* [Internet]. 2019;99(8):1010–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/ptj/pzz062>



## 8 ANEXOS

Anexo 1: Borg's Rate of Perceived Exertion (RPE)

RPE SCALE	RATE OF PERCEIVED EXERTION
<b>10</b> /	<b>MAX EFFORT ACTIVITY</b> Feels almost impossible to keep going. Completely out of breath, unable to talk. Cannot maintain for more than a very short time
<b>9</b> /	<b>VERY HARD ACTIVITY</b> Very difficult to maintain exercise intensity. Can barely breathe and speak only a few words
<b>7-8</b> /	<b>VIGOROUS ACTIVITY</b> Borderline uncomfortable. Short of breath, can speak a sentence
<b>4-6</b> /	<b>MODERATE ACTIVITY</b> Breathing heavily, can hold a short conversation. Still somewhat comfortable, but becoming noticeably more challenging
<b>2-3</b> /	<b>LIGHT ACTIVITY</b> Feels like you can maintain for hours. Easy to breathe and carry a conversation
<b>1</b> /	<b>VERY LIGHT ACTIVITY</b> Hardly any exertion, but more than sleeping, watching TV, etc

Holz J. The rating of perceived exertion (RPE) scale [Internet]. Maximize Potential. 2021 [cited 2022 May 10].  
Disponibile en: <https://maximizepotentialx.com/uncategorized/the-rating-of-perceived-exertion-rpe-scale/>



Anexo 2: Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score

Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Spanish (US) version LK 1.0

1

**ENCUESTA KOOS SOBRE LA RODILLA**

Fecha actual: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Fecha de nacimiento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_

**INSTRUCCIONES:** Esta encuesta le hace preguntas sobre su rodilla. Esta información nos mantendrá informados de cómo se siente acerca de su rodilla y sobre su capacidad para hacer sus actividades diarias. Responda a cada pregunta haciendo una marca en la casilla apropiada. Marque sólo una casilla por cada pregunta. Si no está seguro(a) de cómo contestar la pregunta, por favor dé la mejor respuesta posible.

**Síntomas**

Deberá responder a estas preguntas pensando en los síntomas que tuvo en su rodilla durante los **últimos siete días**.

- S1. ¿Tuvo hinchazón en la rodilla?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nunca                    | Rara vez                 | Algunas veces            | Frecuentemente           | Siempre                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
- S2. ¿Sentía fricción o escuchó algún sonido o ruido en su rodilla cuando la movía?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nunca                    | Rara vez                 | Algunas veces            | Frecuentemente           | Siempre                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
- S3. ¿Su rodilla se trababa o quedaba colgada cuando la movía?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nunca                    | Rara vez                 | Algunas veces            | Frecuentemente           | Siempre                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
- S4. ¿Podía enderezar totalmente su rodilla?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Siempre                  | Frecuentemente           | Algunas veces            | Rara vez                 | Nunca                    |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
- S5. ¿Podía doblar totalmente su rodilla?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Siempre                  | Frecuentemente           | Algunas veces            | Rara vez                 | Nunca                    |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**Rigidez**

Las siguientes preguntas son en relación a la intensidad de la rigidez que ha sentido durante los **últimos siete días** en su rodilla. Rigidez es la sensación de restricción o lentitud que siente cuando mueve la articulación de su rodilla.

- S6. ¿Qué tan severa fue la rigidez en su rodilla al despertarse en la mañana?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ninguna                  | Un poco                  | Moderada                 | Severa                   | Extrema                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
- S7. En el transcurso del día, ¿qué tan severa ha sido la rigidez en su rodilla al estar(a), sentado(a), recostado(a) o haber descansado?
- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ninguna                  | Un poco                  | Moderada                 | Severa                   | Extrema                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Cuestionarios [Internet]. Serod - Sociedad Española de la Rodilla. 2016 [cited 2022 May 10]. Disponible en: <https://www.serod.org/cuestionarios/>