

EFFECTIVIDAD DE LA TÉCNICA BFR EN LA  
REHABILITACIÓN DESPUÉS DE LA  
RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO  
CRUZADO ANTERIOR: UNA REVISIÓN  
BIBLIOGRÁFICA Y PROPUESTA DE  
INTERVENCIÓN



Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA 2022/2023

Autor: Miguel Erviti Palacio

Tutor: Paula Camelia Trandafir

Fecha de defensa: 31/05/2023



## RESUMEN

**Antecedentes:** Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) están ampliamente extendidas en el mundo del deporte. Las tasas anuales de lesiones del LCA en el deporte profesional son entre 0.15% y 3.67%. Además, el procedimiento de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA) conlleva una pérdida significativa de la fuerza y función del cuádriceps o “quadriceps” (Q). Con el fin de solucionar dichas afectaciones se han desarrollado diferentes métodos de rehabilitación, entre ellos la restricción del flujo sanguíneo o “blood flow restriction” (BFR).

**Objetivos:** El objetivo principal fue recopilar la evidencia existente sobre el entrenamiento con BFR en pacientes lesionados del LCA y operados de la reconstrucción de dicho ligamento. Para ello se analizaron diferentes parámetros relacionados con la rehabilitación como la fuerza, la resistencia y el volumen muscular del Q y de los isquiosurales o “hamstrings” (H), entre otros. Otro objetivo fue el desarrollo de una propuesta de intervención de entrenamiento junto con la BFR.

**Metodología:** Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de los programas de rehabilitación tras la RLCA junto con el uso de la BFR en sujetos entre 13 y 55 años, en las bases de datos PubMed, Science Direct, PEDro y Web of Science.

**Resultados:** Se incluyeron 10 estudios en la revisión. Los beneficios obtenidos a través del ejercicio físico junto a la BFR fueron significativamente mejores en 8 de 10 estudios en la mayoría de las variables analizadas, en comparación con el ejercicio físico sin la BFR.

**Conclusiones:** Los protocolos de entrenamiento junto con la BFR, para la rehabilitación de la RLCA, parecen ser más beneficiosos que aquellos que no usan la BFR, especialmente en las fases postoperatorias tempranas.

**PALABRAS CLAVE:** ACL, BFR, Ischemic preconditioning, occlusion

Número de palabras: 19574



ABSTRACT

**Background:** Anterior cruciate ligament (LCA) injuries are very common in sports. Annual LCA injury rates in professional sports range between 0.15% and 3.67%. Anterior cruciate ligament reconstruction (RLCA) procedure causes a significant loss of quadriceps (Q) strength and function. Different rehabilitation methods have been developed to solve these abnormalities, including blood flow restriction (BFR).

**Objectives:** The main objective was to review the existing evidence regarding BFR training in LCA patients after reconstruction. Different parameters related to rehabilitation were analyzed, such as strength, resistance and muscle volume of the Q and the hamstrings (H), among others. Another objective was the development of a proposal for a training intervention together with BFR.

**Methods:** A bibliographic review has been carried out in relation to 15 to 55 years old patients that have undergone RLCA. In order to achieve this, research was done in PubMed, Science Direct, PEDro, and Web of Science databases.

**Results:** 10 studies were included in the review. The benefits obtained through physical exercise together with BFR were significantly better in 8 of 10 studies in most outcomes analyzed, compared to physical exercise without BFR.

**Conclusion:** Training protocols together with BFR for RLCA rehabilitation seem to be more beneficial than those that do not use the BFR, especially in the early postoperative phases.

**KEYWORDS:** ACL, BFR, Ischemic preconditioning, occlusion

Number of words: 19574



GLOSARIO DE ABREVIATURAS

**AD:** Aductores

**ADD:** Aducción

**ADI:** Actividad diaria

**AKP:** Anterior knee pain

**AM:** Antero-medial

**AST:** Área de sección transversal

**BFR:** Blood flow restriction

**BR:** Banda de resistencia

**C:** Concéntrico

**CA:** Caminar

**CV:** Calidad de vida (cambiar por CD)

**DM:** Dolor muscular

**DR:** Dolor de rodilla

**E:** Excéntrico

**EPR:** Elevación de pierna recta

**ER:** Extensión de rodilla

**FGR:** Función general de la rodilla

**FMP:** Fuerza muscular de piernas

**FR:** Flexión de rodilla

**FV:** Fallo voluntario

**H:** Hamstrings

**HL:** High load

**IKDC:** International knee documentation committee

**IS:** Índice de simetría

**ISO:** Isométrico

**ISOCI:** Isocinético

**JCR:** Journal citation reports

**KOOS:** Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score

**LAL:** Ligamento anterolateral

**LCA:** Ligamento cruzado anterior

**LCP:** Ligamento cruzado posterior

**LEFS:** Lower Extremity Functional Scale

**LKSS:** Lysholm Knee Scoring Scale

**LL:** Low load

**LOP:** Limb Occlusion Pressure

**MEP:** Máquina de extensiones de pierna

**NRS:** Numerical Rating Scale

**PB:** Placebo

**PL:** Posterolateral

**PPU:** Prensa de piernas unilateral (cambiar a u mayúscula)

**Q:** Quadriceps

**REM:** Resistencia muscular

**RF:** Recto femoral

**RLCA:** Reconstrucción del ligamento cruzado anterior

**RM:** Repetición máxima

**ROM:** Range of motion

**RPE:** Rating of Perceived Exertion

**RT:** Resistance training

**RTA:** Return to Activity



**SE:** Subida de escalón

**SDT:** Step Down Test

**SJR:** Scimago Jorurnal Rank

**DSLS:** Deep Single Leg Squat

**SSLS:** Shallow Single Leg Squat

**SQ:** Squat

**TE:** Tubo elástico

**TMmáx:** Torque muscular máximo

**VL:** Vasto lateral



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Anatomía.....	1
1.2.	Factores contribuyentes a la lesión del LCA.....	2
1.3.	Biomecánica del LCA .....	3
1.4.	Incidencia .....	4
1.5.	Diagnóstico.....	5
1.6.	Tratamiento quirúrgico .....	8
1.7.	Objetivos de Rehabilitación .....	10
1.8.	Fases de rehabilitación.....	11
1.9.	BFR .....	12
2.	OBJETIVOS .....	15
2.1.	Objetivo principal.....	15
2.2.	Objetivos secundarios .....	15
3.	MÉTODOS .....	17
3.1.	Fuentes de información .....	17
3.2.	Estrategia de búsqueda.....	17
3.3.	Criterios de selección .....	18
3.4.	Evaluación de la calidad metodológica de los ECAS .....	18
3.5.	Evaluación de la calidad metodológica de los artículos no aleatorizados .....	22
3.6.	Evaluación de la calidad de las revistas .....	24
3.7.	Diagrama de flujo.....	27
4.	RESULTADOS.....	29
5.	DISCUSIÓN .....	51
6.	CONCLUSIONES.....	63
7.	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN .....	65
7.1.	Introducción.....	65
7.2.	Hipótesis.....	67
7.3.	Objetivos .....	67
7.3.1.	Objetivo principal.....	67
7.3.2.	Objetivos secundarios.....	67
7.4.	Materiales y métodos .....	68
7.4.1.	Diseño del estudio, población y muestra.....	68
7.4.2.	Criterios de selección .....	68

7.4.3.	Valoración .....	69
7.4.4.	Aleatorización, enmascaramiento y cegamiento.....	71
7.5.	Intervención .....	71
7.5.1.	Variables y toma de datos.....	71
7.5.2.	Protocolo de intervención.....	74
7.6.	Etapas de desarrollo y distribución de tareas.....	77
7.7.	Resultados previstos. ....	78
8.	AGRADECIMIENTOS.....	79
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	81
10.	ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. PEDro 1. Elaboración propia .....	20
Tabla 2. PEDro 2. Elaboración propia .....	21
Tabla 3. CASPE. Elaboración propia .....	23
Tabla 4. JCR y SJR 1. Elaboración propia .....	25
Tabla 5. JCR y SJR 2. Elaboración propia .....	26
Tabla 6. Resultados 1. Elaboración propia.....	44
Tabla 7. Resultados 2. Elaboración propia.....	45
Tabla 8. Resultados 3. Elaboración propia.....	46
Tabla 9. Resultados 4. Elaboración propia.....	47
Tabla 10. Resultados 5. Elaboración propia.....	48
Tabla 11. Resultados 6. Elaboración propia.....	49
Tabla 12. Variables y toma de datos. Elaboración propia .....	74
Tabla 13. Protocolo de entrenamiento. Elaboración propia .....	75
Tabla 14. Ejercicios del protocolo. Elaboración propia .....	76



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A, resonancia magnética de la rodilla. B, Modelo de rodilla con las inserciones de los fascículos del LCA y el ligamento cruzado posterior (LCP) para un sujeto típico (5) .....	1
Figura 2. Aumento de la carga soportada por el LCA en un mecanismo de abducción o valgo y rotación tibial externa (15) .....	3
Figura 3. Roturas del LCA por cada 100 jugadores alemanes de fútbol de élite, desde la temporada (2009/10) hasta la temporada (2015/2016) (27) .....	5
Figura 4. Fractura por avulsión de la espina tibial. Hombre de 20 años que sufre una lesión del LCA durante un partido de fútbol. A, radiografía lateral de rodilla que muestra una fractura con desplazamiento por avulsión del LCA en la eminencia intercondílea anterior (flecha negra). B, imagen tomada mediante tomografía computarizada en el plano sagital del mismo paciente. Muestra una fractura con desplazamiento por avulsión de la eminencia tibial intercondílea (flecha blanca) (42) .....	7
Figura 5. A, Líneas extendidas del injerto virtual de los fascículos AM y PL en el lado femoral con 90 grados de FR. Túnel femoral virtual realizado mediante la técnica de perforación a través del túnel tibial. B, Líneas extendidas del injerto virtual de los fascículos AM y PL en el lado femoral con 110 grados de FR. Túnel femoral virtual realizado mediante la perforación del túnel antero-medial distal (47) .....	9
Figura 6. Diagrama de flujo. Elaboración propia .....	28





## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Escala PEDro .....	91
Anexo 2. Escala CASPE .....	94
Anexo 3. Cuestionario KOOS.....	98
Anexo 4. Cuestionario LKSS .....	103
Anexo 5. Cuestionario IKDC .....	104
Anexo 6. Escala de fuerza muscular modificada “Medical Research Council” .....	106
Anexo 7. Consentimiento informado. Modificado .....	107
Anexo 8. Escala Borg del dolor .....	108
Anexo 9. Escala Borg del RPE.....	109
Anexo 10. Dispositivo BFR .....	110



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Anatomía

La rodilla es una articulación sinovial compleja. Los ligamentos cruzados son los principales estabilizadores de la articulación en diversos grados de flexoextensión (1). El LCA controla el movimiento anterior de la tibia e inhibe la rotación tibial en rangos extremos (2). El ligamento está compuesto por dos haces funcionales llamados, banda anteromedial (AM) y posterolateral (PL) (3). Los haces se hacen evidentes durante el desarrollo del feto y son diferenciables a lo largo de la vida (4). Ambas bandas se originan en la zona posteromedial del cóndilo femoral lateral y se insertan anterior a la eminencia tibial intercondílea (**Figura 1**).

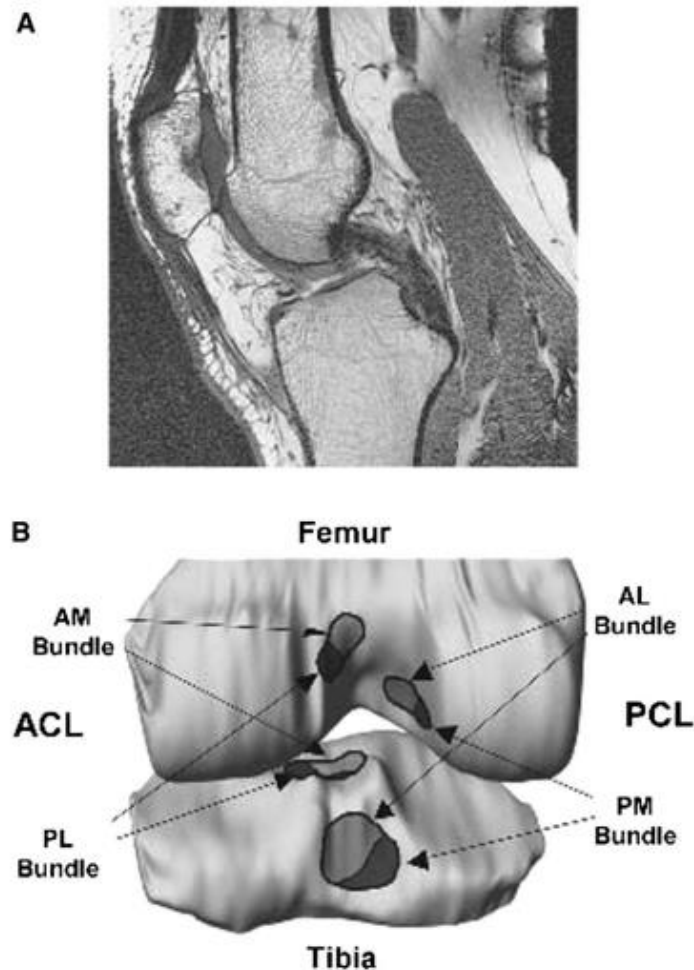


Figura 1. A, resonancia magnética de la rodilla. B, Modelo de rodilla con las inserciones de los fascículos del LCA y el ligamento cruzado posterior (LCP) para un sujeto típico (5)

El pinzamiento fisiológico en la escotadura intercondílea en extensión completa se evita debido a la amplia zona de inserción tibial del LCA (5–7). Por lo tanto, el posicionamiento de la plastia del LCA en la RLCA debe seguir este principio.

La longitud media del haz AM es de 33mm y 18mm para el haz PL. La anchura total de LCA en cadáveres oscila entre 7 y 17mm con un promedio de 11mm. El área de sección transversal (AST) es de 36 y 47mm<sup>2</sup> para las mujeres y los hombres, respectivamente (6,8–10). Además, el LCA está compuesto por fibras de colágeno tipo 1.

En la disección realizada por Giuliani et al. (2018) (6) encontraron que el principal suministro de sangre del ligamento proviene de la arteria genicular media, con un suministro adicional proveniente de las arterias geniculares inferomediales e inferolaterales. El LCA es inervado por el nervio tibial, que presenta terminaciones nerviosas que perforan la cápsula posterior y discurren por el trayecto ligamentoso junto a la membrana sinovial (11). También se encuentran diversos mecanorreceptores en el LCA, como los corpúsculos de Ruffini, corpúsculos de Pacini, orgánulos de Golgi y terminaciones nerviosas libres (12).

## **1.2. Factores contribuyentes a la lesión del LCA**

Se ha observado que cuanto más fuerte son los músculos del Q, más grande y fuerte es el LCA. No obstante, no está claro que el aumento de volumen y fuerza del Q resulte en un aumento en las dimensiones del LCA (9). El tamaño de los Q, incluso después de diversos ajustes en el peso y la masa magra, es mayor en atletas masculinos comparado con atletas femeninos.

Existen diferentes factores de riesgo neuromusculares y biomecánicos asociados a la lesión del LCA (13). En comparación con la carrera, los pasos laterales y las maniobras de recortes suponen un aumento significativo en la carga soportada por el LCA (14). Esto se debe al aumento de movimientos en varo, valgo y rotaciones de rodilla (**Figura 2**). Las grandes demandas soportadas por el LCA durante los recortes ponen en riesgo su integridad, especialmente cuando la rodilla se encuentra en unos 0 a 40 grados de flexión.

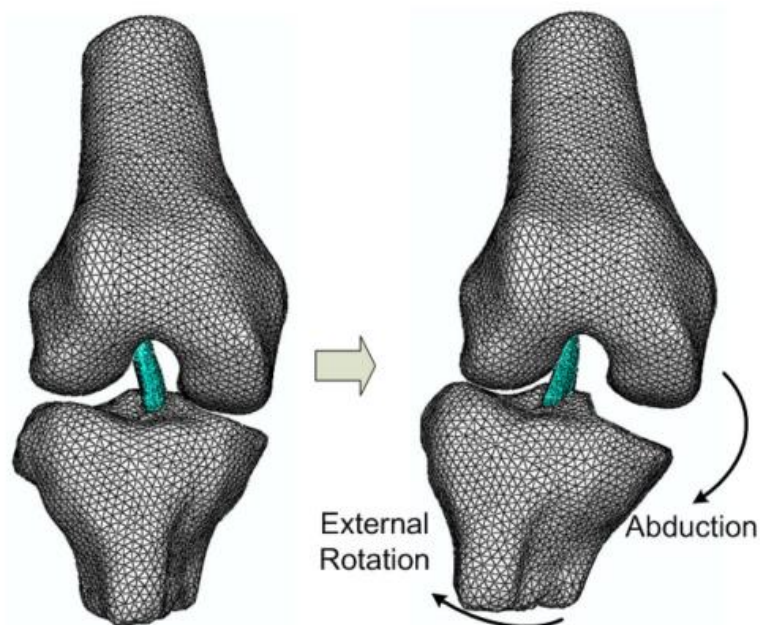


Figura 2. Aumento de la carga soportada por el LCA en un mecanismo de abducción o valgo y rotación tibial externa (15)

La estenosis de la escotadura intercondílea también puede contribuir al aumento del riesgo de lesión (15–18). El índice de anchura de la escotadura se usa como una medida para cuantificar esta condición. Consiste en la relación entre la anchura de la escotadura intercondílea y la anchura del fémur a nivel del hueco poplíteo. En un estudio realizado en militares estadounidenses se averiguó que un menor tamaño en la escotadura intercondílea suponía un riesgo significativo de padecer una lesión del LCA, tanto en hombres como en mujeres.

El índice de masa corporal (IMC) también resultó ser un factor de riesgo para las mujeres (16). Además, el índice mencionado, no difirió significativamente entre hombres y mujeres. La anchura de la escotadura también se correlaciona con la del LCA y el LCP. Por lo tanto, se ha argumentado que el tamaño de la escotadura intercondílea no es el factor de riesgo fundamental para la lesión del LCA, sino que lo es el tamaño del propio ligamento (17).

### 1.3. Biomecánica del LCA

Las fuerzas transmitidas a través de los haces del LCA varían en función del posicionamiento de la articulación de la rodilla. Funcionalmente, el fascículo AM alcanza la tensión máxima entre 45 y 60 grados de flexión y permanece bajo tensión

durante todo el rango de movimiento o “range of motion” (ROM) de la rodilla. A diferencia del haz PL, que permanece tenso en la extensión y se destensa con la flexión, permitiendo la rotación tibial.

Cuando se dan 15 grados de flexión de rodilla (FR) se ha observado que no existen diferencias significativas en la tensión soportada por ambas estructuras ligamentosas (19). Por lo tanto, dependiendo del grado de flexión, los fascículos AM y PL facilitan la estabilidad anteroposterior y rotacional de la rodilla (20). En concreto, el haz PL puede soportar mayores fuerzas en la dirección de la anteriorización tibial, mientras que las demandas en el haz AM permanecen relativamente constantes y no varían en función de los cambios en el ángulo de flexión o las fuerzas tibiales anteriores (21). Así pues, las fuerzas toleradas por el fascículo PL se correlacionan con las de todo el LCA en diferentes ángulos de flexión.

Durante la RLCA la propia reconstrucción del haz PL tiene más importancia que la del AM. Esto es debido a que la mayoría de lesiones del LCA se dan cuando la rodilla se encuentra en extensión completa, y como se ha mencionado anteriormente, el fascículo PL es el que mayores fuerzas tolera en esta posición (19,21,22). La RLCA restaura el límite de la traslación tibial anterior de una manera similar a la rodilla no lesionada. Sin embargo, los movimientos rotatorios complejos, como la rotación tibial medial y el valgo, se abordan con menos éxito en las cirugías estándar. En consecuencia, parece que las reconstrucciones que replican predominantemente el haz AM puede que no restauren la función y estabilidad de la rodilla a lo largo de todo su ROM (2).

#### **1.4. Incidencia**

Las lesiones del LCA están ampliamente extendidas en el mundo del deporte. Se pueden clasificar en lesiones con contacto o sin contacto, aunque la gran mayoría de ellas se producen sin contacto (23). Estas últimas se dan de forma más incidente en atletas entre 15 y 40 años que practican deportes de giros o en los que se debe pivotar como el fútbol, (**Figura 3**), el balonmano, el vóleybol y el esquí alpino (24,25).

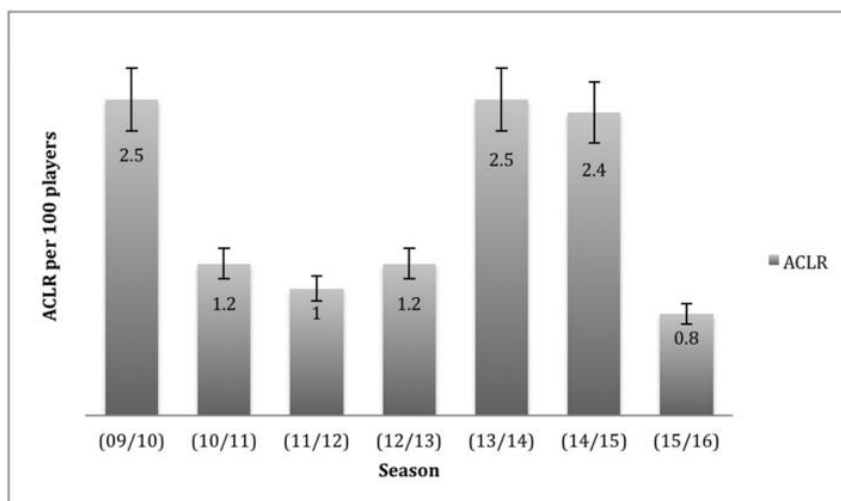


Figura 3. Roturas del LCA por cada 100 jugadores alemanes de fútbol de élite, desde la temporada (2009/10) hasta la temporada (2015/2016) (27)

Las tasas anuales de lesiones del LCA en el deporte profesional son entre 0.15% y 3.67% (25). En cuanto al género, existe más riesgo en las mujeres, ya que son de dos a ocho veces más propensas a sufrir la lesión. Esto puede deberse a una divergencia en los patrones neuromusculares entre hombres y mujeres durante y después de la pubertad (13,26–30).

La meta principal para los atletas es la vuelta a la competición lo más rápido posible, preferiblemente rindiendo al mismo nivel que antes de la lesión y minimizando el riesgo de la recidiva. Actualmente se sabe que un 80% de los pacientes operados de la RLCA regresan a la práctica deportiva, no obstante, solo el 65% vuelven a su nivel previo a la lesión y únicamente un 55% regresan a deportes de nivel competitivo (31).

### 1.5. Diagnóstico

Para diagnosticar con precisión una ruptura del LCA, el médico debe combinar la información de la historia clínica del paciente, el examen físico y, si es preciso, las imágenes diagnósticas.

Las causas más comunes de la lesión sin contacto del LCA son las desaceleraciones, los saltos o las acciones de recortar con cambios de dirección. Estas últimas se acompañan habitualmente de maniobras de rotación o un movimiento hacia el valgo de rodilla con la pierna estirada y la tibia rotada (32,33). Los casos donde el contacto directo es la causa de la lesión suelen venir acompañados habitualmente de

mecanismos como la hiperextensión o el valgo de rodilla junto a un sonido y/o una sensación de chasquido (34). Además, la hinchazón que se da tras la lesión suele aparecer a partir de las cuatro horas.

La examinación clínica es de suma importancia a la hora del diagnóstico de la lesión del LCA, especialmente si se realiza de forma precoz, cuando todavía no se presentan síntomas de hinchazón, dolor y protección muscular.

La prueba más precisa y comúnmente usada es la de “Lachman”, para valorar la estabilidad anterior de la rodilla (35–38). Esta, tiene una sensibilidad del 85% y una especificidad del 94% (35). Se lleva a cabo colocando la rodilla a unos 20-30 grados de flexión, estabilizando la porción distal del fémur con una mano y aplicando una fuerza hacia la zona proximal de la tibia con la mano contraria. El procedimiento se realiza para valorar la laxitud en la traslación anterior de la tibia, relativa al fémur. Las pruebas de la valoración física no se suelen realizar e interpretar de forma aislada, de modo que se combinan normalmente con más pruebas ortopédicas o de imagen (39).

Otra examinación comúnmente usada para evaluar el desplazamiento tibial anterior es la del cajón anterior. Esta prueba, tiene una alta sensibilidad y especificidad para roturas crónicas del LCA, con un 92% y 91% respectivamente, pero una baja precisión para casos agudos (35). Se realiza colocando la rodilla a testar a 90 grados, el examinador se sienta encima del pie del paciente y coloca su toma en la zona proximal de la tibia desde la zona posterior, a la altura de la meseta tibial. Con los dedos índices se palpan los H para asegurarse de que estén relajados, a continuación, se aplica una fuerza anterior en la zona proximal de la tibia.

Otra prueba usada habitualmente, es la de “Pivot shift”. Cuando esta resulta positiva el diagnóstico de rotura del LCA es muy claro debido a su alta especificidad del 98%, sin embargo, un resultado negativo no es suficiente para descartar la lesión debido a su baja sensibilidad del 24% (35). El paciente se coloca en supino y el examinador se sitúa de pie en el lado a valorar, este, rodea la pierna del paciente con su brazo y flexiona la rodilla del paciente a unos 90 grados. Después, se aplica una rotación medial a la tibia con la palma de la mano contraria, a continuación, se extiende lentamente la rodilla, mientras se sigue aplicando una rotación medial a la tibia.



Cuando se produce la recolocación de la tibia desplazada y se escucha o palpa un “click” el test es positivo e indica inestabilidad en la articulación de la rodilla.

Las radiografías pueden servir para descartar o diagnosticar lesiones asociadas como fracturas, cuerpos libres, signos degenerativos y formación de osteofitos (**Figura 4**). También pueden revelar un diagnóstico de fractura por avulsión de la cápsula lateral, que es patognomónica de un desgarro del LCA (40). Además, la resonancia magnética nuclear tiene una especificidad del 95% y una sensibilidad del 86% para diagnosticar lesiones del LCA (41).



Figura 4. Fractura por avulsión de la espina tibial. Hombre de 20 años que sufre una lesión del LCA durante un partido de fútbol. A, radiografía lateral de rodilla que muestra una fractura con desplazamiento por avulsión del LCA en la eminencia intercondílea anterior (flecha negra). B, imagen tomada mediante tomografía computarizada en el plano sagital del mismo paciente. Muestra una fractura con desplazamiento por avulsión de la eminencia tibial intercondílea (flecha blanca) (42)

Otras lesiones comunes asociadas a la del LCA son los esguinces de los ligamentos colindantes, desgarros de menisco, lesiones de la médula ósea, lesiones del cartílago articular y fracturas intraarticulares. Las tasas de lesión del ligamento colateral lateral y el LCP son generalmente bajas, a diferencia de las lesiones del ligamento colateral medial y los desgarros meniscales que son generalmente altas, con una prevalencia del 30% y 42% respectivamente (43).

## 1.6. Tratamiento quirúrgico

En la mayoría de las ocasiones, las lesiones sintomáticas del LCA son tratadas mediante la reconstrucción quirúrgica. La tendencia actual de las técnicas de RLCA es restaurar la anatomía previa, de la forma más precisa posible (44). Por lo tanto, la colocación del injerto se realiza en la posición anatómica, a través de unos túneles que se perforan en la zona de inserción original, utilizando uno o dos fascículos (45).

El tamaño de la inserción tibial juega un papel fundamental. En función de la técnica a realizar se precisará de una zona insercional más amplia, como en el caso de la reconstrucción de dos fascículos (46). En consecuencia, la determinación de la ubicación anatómica de las inserciones del LCA, el grado de oblicuidad de las fibras y la naturaleza de los haces AM y PL son aspectos de suma importancia que se deben tener en cuenta antes de la perforación de los túneles (1).

La planificación de la cirugía debe tener en cuenta diversos factores, ya que la mayoría de las rodillas lesionadas que no son tratadas progresan a presentaciones clínicas como la osteoartritis secundaria con daños significativos en los meniscos y el cartílago articular. De modo que, un análisis morfométrico de la anatomía del LCA, sus haces asociados, el grosor de sus fibras y las posiciones relativas durante el movimiento, son cuestiones indispensables para la correcta planificación de la RLCA (1).

Dos de los procedimientos que se utilizan con frecuencia son, la técnica de perforación a través del túnel tibial y la perforación del túnel antero-medial distal. Se tratan de reconstrucciones de los dos haces, AM y PL (**Figura 5**) (47).

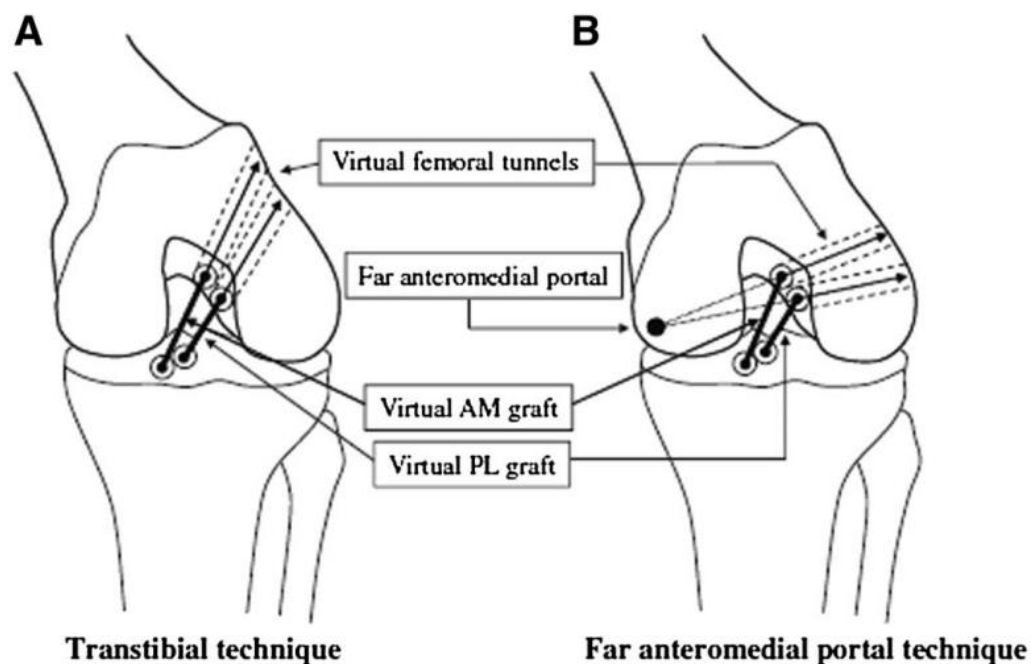


Figura 5. A, Líneas extendidas del injerto virtual de los fascículos AM y PL en el lado femoral con 90 grados de FR. Túnel femoral virtual realizado mediante la técnica de perforación a través del túnel tibial. B, Líneas extendidas del injerto virtual de los fascículos AM y PL en el lado femoral con 110 grados de FR. Túnel femoral virtual realizado mediante la perforación del túnel antero-medial distal (47)

La información actual indica que el autoinjerto hueso-tendón rotuliano-hueso sigue siendo el injerto de elección, para los atletas de alto rendimiento que desean volver al alto nivel. Los nuevos métodos con injertos de los H, ya sea a cortándose o agregando un autoinjerto para aumentar su diámetro, son recomendados en la población de menor demanda atlética. Los aloinjertos también pueden seguir siendo una alternativa viable para los atletas menos exigentes, en particular los mayores de 40 años (48–50).

Además, la importancia del ligamento anterolateral (LAL) ha redirigido la atención, debido a su utilidad para restringir la traslación tibial anterior y el fenómeno de “pivot shift”. No obstante, la utilidad de la reconstrucción del LAL dentro de la RLCA no es comprendida al completo (51).

Finalmente, el ángulo formado por la línea perpendicular al centro de la diáfisis tibial y la inclinación posterior de los platillos tibiales ha sido identificado como factor de

riesgo importante de sufrir una lesión del LCA. Aparte de un mal pronóstico para el injerto de la reconstrucción. En el caso de un sujeto con una angulación superior a 12 grados, este debe ser asesorado sobre los riesgos de sufrir futuras lesiones, ya sea en el mismo lado o en el lado contralateral. La osteotomía tibial para la reducción del ángulo del paciente también puede ser valorada por el cirujano en cuestión (52).

### **1.7. Objetivos de Rehabilitación**

Los principales objetivos para el manejo del tratamiento en la rotura del LCA son la restauración de la función de la rodilla, el abordaje de las barreras psicológicas para reanudar la actividad, la prevención de futuras lesiones de rodilla, la reducción del riesgo de sufrir osteoartritis de rodilla y optimizar la calidad de vida (CV) en el largo plazo (53).

En cuanto a la función de la rodilla, las anormalidades más habituales son los déficits de fuerza muscular, las alteraciones en los patrones de movimiento, la baja propiocepción de la articulación y una laxitud pasiva de rodilla aumentada. Estas anormalidades provocan, de forma conjunta, una inestabilidad funcional en la rodilla (54).

El factor psicológico en este tipo de lesiones es de suma importancia, ya que la mayoría de pacientes que no vuelven a practicar deporte, atribuyen el problema al miedo de volver a lesionarse y a la falta de confianza en la rodilla (31).

A causa de la alta recidiva de lesiones de rodilla tras la rotura del LCA (55), resulta fundamental disminuir el riesgo de lesión, para ello, se debe plantear una correcta estrategia de tratamiento que debe tener una duración de al menos 9 meses desde la operación. También, es importante proporcionar educación al paciente, especialmente en aquellos sujetos que toman la decisión de seguir participando en deportes de giros o en los que se debe pivotar (56,57).

Además, el riesgo de sufrir osteoartritis de rodilla también debe ser considerado. De modo que el trabajo enfocado en bajar el IMC y aumentar el nivel de actividad física, especialmente en aquellos sujetos con debilidad del Q, es fundamental (58).

Otro aspecto clave en la rehabilitación es la reducción del impacto negativo que supone la lesión en la CV, actual y futura, de la persona. Esto requiere un enfoque personalizado y en línea de las metas y prioridades del individuo (59).

### **1.8. Fases de rehabilitación**

La primera fase es la preoperatoria y debe empezar lo antes posible después del diagnóstico. Los déficits de ROM pasivo de extensión de rodilla (ER) y la debilidad del Q deben ser objetos de trabajo, ya que son factores asociados a un mal pronóstico postoperatorio (60). En pacientes con ROM completo, sin derrame y la capacidad de saltar sobre una pierna, el entrenamiento de alta resistencia o “high load” (HL) y ejercicios pliométricos es seguro (61).

En la fase aguda postoperatoria, los tratamientos enfocados a ganar la extensión pasiva completa y la función del Q deben empezar el primer día después de la operación. En esta etapa son recomendables los ejercicios activos y pasivos de ROM junto a el manejo del derrame mediante el ajuste de cargas. Además, tanto los ejercicios de cadena cinética cerrada y cadena cinética abierta son recomendables (60).

La etapa intermedia está compuesta por el entrenamiento neuromuscular y el de fuerza. El entrenamiento neuromuscular es un término general que incluye el trabajo del equilibrio, la agilidad, la pliometría y el trabajo bajo perturbaciones. Además, el objetivo del fortalecimiento muscular, en términos de fuerza y potencia, es fundamental para que el paciente vuelva a participar en el deporte y las actividades recreativas deseadas (60).

La rehabilitación en el periodo avanzado debe ser especialmente individual. Tiene que planificarse en función de las metas específicas del paciente y las demandas atléticas de su deporte, en el caso de practicar alguno. Esta fase incluye ejercicios de HL, ejercicios de agilidad y actividades del propio deporte.

Por último, la realización de un programa de prevención de lesiones debe ser realizado al menos dos veces por semana a medida que el paciente vuelve a su práctica deportiva, hasta que se produce su reincorporación completa. Hay variedad de programas efectivos para la prevención de lesiones en deportes de giros o en los

que se debe pivotar (62), que incluyen ejercicios de fuerza de las extremidades inferiores y patrones de movimiento de bajo riesgo.

### **1.9. BFR**

Como se ha visto previamente, la rotura del LCA y el procedimiento de reconstrucción conllevan a una pérdida significativa de la fuerza del Q. Esta disminución de la fuerza persiste a menudo durante mucho tiempo tras la operación e incluso después de la rehabilitación postoperatoria (63–66). Las deficiencias persistentes en la fuerza del Q son problemáticas y se asocian a factores negativos ya mencionados anteriormente.

A partir de esta problemática, surge una técnica de entrenamiento llamada BFR. Ésta, es una técnica en la que se aplica un torniquete en la parte proximal del músculo que se va a entrenar para comprimir las estructuras vasculares subyacentes durante el ejercicio (67,68). La compresión de los tejidos vasculares permite el flujo arterial hacia la extremidad, pero restringe el retorno venoso (69).

Se cree que dicha técnica estimula el crecimiento muscular y mejora la fuerza a través de varios mecanismos. Entre los mecanismos principales están la acumulación metabólica, que estimula el aumento de la actividad anabólica, los factores de crecimiento, los aumentos en el reclutamiento de fibras de contracción rápida y los aumentos en la síntesis de proteínas a través de una disminución de la expresión de la miostatina (67,70). Precisamente, la debilidad y la atrofia del Q se asocian con la disminución en el reclutamiento de fibras de contracción rápida (71,72) y una mayor expresión de la miostatina (73). Por lo tanto, el entrenamiento de fuerza junto a la BFR puede ser una intervención eficaz para abordar los déficits musculares aparentes, después de la RLCA.

Uno de los beneficios propuestos por la BFR es la capacidad de hacer ejercicio a baja intensidad o “low load” (LL), pero lograr mejoras similares de fuerza o hipertrofia que el ejercicio de HL por sí solo. Como tal, la BFR es una intervención atractiva para los pacientes, poco tiempo después de la operación, cuando el ejercicio de HL todavía no está indicado debido al dolor y al tiempo de cicatrización del tejido.

Además, se debe tener en cuenta que la debilidad del Q persiste de manera prolongada en los pacientes operados. Por lo que la aplicación de la BFR no solo

podría ser atractiva en el corto plazo, sino que también podría resultar interesante, junto con el ejercicio de HL, en las fases finales del proceso de rehabilitación.

Finalmente, los efectos de esta técnica en cuanto a otras variables como el dolor, el esfuerzo percibido o “rating of perceived exertion” (RPE), la función, el ROM, la laxitud y el derrame también son un objeto de estudio interesante.





## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo principal

Determinar la efectividad de la técnica BFR en los diferentes protocolos de ejercicio físico y analizar los parámetros relacionados con la rehabilitación en pacientes con RLCA.

### 2.2. Objetivos secundarios

- Estudiar el impacto de diferentes protocolos de ejercicio físico junto a la técnica BFR sobre la fuerza, la resistencia y el volumen muscular del Q y los H.
- Analizar el efecto de diferentes protocolos de ejercicio físico junto a la técnica BFR sobre percepciones subjetivas como el dolor de rodilla (DR), el dolor muscular (DM) y el RPE.
- Comprobar el impacto de diferentes protocolos de ejercicio físico junto a la técnica BFR sobre la función general de la rodilla (FGR).
- Examinar el efecto del ejercicio físico y la técnica BFR sobre el ROM de la rodilla.
- Evaluar el impacto del ejercicio físico y la técnica BFR sobre el índice de simetría (IS) de los miembros inferiores en cuanto a la fuerza y el volumen muscular.
- Estudiar el efecto del ejercicio físico y la técnica BFR sobre la laxitud de la rodilla.
- Analizar el impacto del ejercicio físico y la técnica BFR sobre el derrame de la rodilla.



### 3. MÉTODOS

#### 3.1. Fuentes de información

Para obtener una buena diversidad tipológica e idiomática de fuentes y con el objetivo de alcanzar una perspectiva amplia de lo publicado hasta la actualidad se han empleado las bases de datos PubMed, Science Direct, PEDro y Web of Science.

#### 3.2. Estrategia de búsqueda

La recopilación de los artículos científicos se realizó con la ayuda de una pregunta de investigación a partir del modelo PIO, que consiste en identificar tres componentes principales: paciente o “patient” (P), intervención a analizar o “intervention” (I) y resultados o “outcomes” (O).

La pregunta de investigación empleada fue la siguiente: ¿es la técnica BFR (I) efectiva a la hora de mejorar los parámetros relacionados con la recuperación física (O) en pacientes operados de una RLCA (P)?

Con el objetivo de emplear las palabras clave más actualizadas y adecuadas del tema en cuestión se hizo uso de las páginas web “Dynamed” y “Medical Subject Headings”. Tras la recopilación de los términos se procedió a introducir la combinación de palabras en las bases de datos. Para ello, se utilizaron los operadores booleanos “OR” y “AND”.

Por un lado, en la base de datos Web of Science la búsqueda utilizada fue: (acl) AND (“blood flow restriction” OR bfr OR occlusion OR “ischemic preconditioning”). Se aplicó el filtro de “Article” y tras ello se obtuvieron un total de 77 artículos.

Por otro lado, en el servidor PEDro se usaron diferentes combinaciones de tres palabras para recopilar la mayor cantidad de artículos publicados, no obstante, esto no resultó efectivo por lo que finalmente se decidió realizar una única búsqueda: (“anterior cruciate ligament” “blood flow restriction”). A continuación, se recopilaron un total de 15 artículos.

Para la base de datos Science Direct la búsqueda fue la siguiente: (acl) AND (“blood flow restriction” OR bfr OR “ischemic preconditioning”). Para esta búsqueda se aplicó el filtro “Research articles” y se encontraron un total de 54 artículos.

En la base de datos PubMed se empleó la búsqueda: (acl) AND (“blood flow restriction” OR bfr OR occlusion OR “ischemic preconditioning”). Además, se aplicó el filtro “Clinical trial” y finalmente se obtuvieron un total de 15 artículos.

### **3.3. Criterios de selección**

a) Criterios de inclusión:

- Ensayos clínicos aleatorizados
- Personas entre 13 y 55 años
- Pacientes operados de la RLCA en los tres primeros meses del postoperatorio
- Intervención basada en ejercicio físico y la aplicación de la técnica BFR
- Ejercicio físico basado en el entrenamiento de fuerza

b) Criterios de exclusión:

- Personas que han pasado por reconstrucciones múltiples de ligamentos u otro tipo de cirugías previas
- Personas lesionadas previamente del LCA
- Personas con artritis reumatoide
- Personas con historial de trombosis venosa profunda u otras patologías vasculares
- Personas que están bajo medicación anticoagulante
- Protocolos de ejercicio sin control de la carga

### **3.4. Evaluación de la calidad metodológica de los ECAS**

Una vez seleccionados los artículos con acceso al texto completo se aplicó un filtro para la valoración de la calidad metodológica a través de la escala PEDro (**Tabla 1** y **Tabla 2**) (74). Esta escala contiene 11 criterios, que fueron marcados como SI o NO en el caso de cumplirse o no hacerlo. El primer ítem no se tuvo en cuenta para la puntuación final, de modo que el cumplimiento de cada uno de ellos supone la adición de un punto a la nota final, en la cual se puede obtener diez puntos. La puntuación mínima para la inclusión de los artículos en la revisión fue de 5 puntos. Los criterios detallados son los siguientes:

1. Los criterios de elección fueron especificados.

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).
3. La asignación fue oculta.
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación con los indicadores de pronóstico más importantes.
5. Todos los sujetos fueron cegados.
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados.
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados.
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.
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”.
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave.
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

Finalmente se realizó una excepción con el artículo Ohta et al. (2003) (75) el cual se incluyó pese a tener una puntuación en PEDro menor que 5 (**Tabla 1**) (74). Esto se debe a la importancia del artículo para el trabajo y el impacto de la revista en la que se publicó.

Tabla 1. PEDro 1. Elaboración propia

AUTOR	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8	Criterio 9	Criterio 10	TOTAL
Ohta et al. (2003)	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	3/10
Iversen et al. (2016)	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	6/10
Zargi et al. (2018)	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	6/10
Hughes et al. (2018)	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	7/10
Korakakis et al. (2018)	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	8/10
Hughes et al. (2019a)	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	7/10
Hughes et al. (2019b)	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	7/10

Tabla 2. PEDro 2. Elaboración propia

AUTOR	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8	Criterio 9	Criterio 10	TOTAL
Curran et al. (2020)	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	6/10
Vieira de Melo et al. (2022)	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	6/10

### **3.5. Evaluación de la calidad metodológica de los artículos no aleatorizados**

Para la evaluación metodológica de los artículos no aleatorizados se empleó la escala de puntuación CASPE (**Tabla 3**) (76). En dicha valoración se tuvieron en cuenta tres grandes epígrafes: “¿Son válidos los resultados del ensayo? ¿Cuáles son los resultados? ¿Pueden ayudarnos estos resultados?” La escala de puntuación contiene 11 preguntas diseñadas para ayudar a centrarse en los aspectos mencionados de manera sistemática. La puntuación mínima para la inclusión de los artículos en la revisión fue de 6 puntos. Las preguntas son:

1. ¿Se orienta el ensayo a una pregunta claramente definida?
2. ¿Fue aleatoria la asignación de los pacientes a los tratamientos?
3. ¿Fueron adecuadamente considerados hasta el final del estudio todos los pacientes que entraron en él?
4. ¿Se mantuvo el cegamiento a los pacientes, los clínicos o el personal del estudio?
5. ¿Fueron similares los grupos al comienzo del ensayo?
6. ¿Al margen de la intervención en estudio los grupos fueron tratados de igual modo?
7. ¿Es muy grande el efecto del tratamiento?
8. ¿Cuál es la precisión de este efecto?
9. ¿Puede aplicarse estos resultados en tu medio o población local?
10. ¿Se tuvieron en cuenta todos los resultados de importancia clínica?
11. ¿Los beneficios a obtener justifican los riesgos y los costes?



Tabla 3. CASPE. Elaboración propia

Autor <i>et al.</i> (año)	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Criterio 7	Criterio 8	Criterio 9	Criterio 10	Criterio 11	Total
Kilgas et al. (2019)	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	8/11

### **3.6. Evaluación de la calidad de las revistas**

Para la evaluación de la calidad de las revistas se hizo uso de las bases de datos JCR (77) y SJR (78). La primera, cubre las publicaciones revisadas por expertos más citadas del mundo de aproximadamente 200 disciplinas diferentes. El factor de impacto es calculado anualmente por el “Institute for Scientific Information”. La última, surgió como herramienta libre y alternativa a JCR, y analiza las publicaciones indexadas en la base de datos Scopus, de la editorial Elsevier, desde 1997 hasta la fecha.

Ambas miden la calidad de la revista en la que se publican los artículos. Una misma revista puede localizarse en distintas áreas temáticas y es muy probable que, en cada una de ellas, tenga un impacto diferente. El índice de impacto para un título de revista en un año determinado es un índice fijo en JCR. En cambio, en SJR no es un índice fijo y puede variar. El factor de impacto de una revista se actualiza cada año y puede variar de unos años a otros. Una misma revista puede localizarse en distintas áreas temáticas y es muy probable que, en cada una de ellas, tenga un impacto diferente. Cada grupo temático de revistas se divide en cuatro cuartiles: Q1, Q2, Q3, Q4, que corresponden respectivamente al grupo conformado por el primer 25% de las revistas del listado, el grupo que ocupa del 25 al 50%, el que se posiciona entre el 50 y el 75%, y, finalmente, el que está situado entre el 75 y el 100% del ranking ordenado. La verdadera élite de las revistas de una temática está conformada por aquellas que ocupan el primer cuartil, Q1. Es por ello por lo que para esta revisión únicamente se incluyeron aquellos artículos posicionados en Q1 o Q2.

Tabla 4. JCR y SJR 1. Elaboración propia

Autor <i>et al.</i> (año)	Revista	Journal Citation Reports (JCR)			SCImago Journal & Country Rank (SJR)		
		Factor impacto	Categoría	Posición en categoría	Factor impacto	Categoría	Posición en categoría
Ohta et al. (2003)	Acta Orthopaedica Scandinavica	0.770	Orthopedics	Q2	0.461	Surgery	Q2
Iversen et al. (2016)	Journal of Sport and Health Science	2.531	Sports Science	Q1	0.966	Rehabilitation	Q1
Zargi et al. (2018)	Front Physiology	3.201	Physiology	Q2	1.153	Physiology (Medical)	Q2
Hughes et al. (2018)	Physical Therapy in Sport	2.000	Rehabilitation	Q2	0.826	Rehabilitation	Q2
Korakaris et al. (2018)	Physical Therapy in Sport	2.000	Rehabilitation	Q2	0.826	Rehabilitation	Q2
Kilgas et al. (2019)	International Journal of Sports Medicine	2.556	Sports Science	Q2	1.099	Rehabilitation	Q1
Hughes et al. (2019a)	Physical Therapy in Sport	1.926	Rehabilitation	Q2	0.721	Rehabilitation	Q2

Tabla 5. JCR y SJR 2. Elaboración propia

Autor <i>et al.</i> (año)	Revista	Journal Citation Reports (JCR)			SCImago Journal & Country Rank (SJR)		
		Factor impacto	Categoría	Posición en categoría	Factor impacto	Categoría	Posición en categoría
Hughes et al. (2019b)	Sports Medicine	8.551	Sports Science	Q1	3.290	Rehabilitation	Q1
Curran et al. (2020)	American Journal of Sports Medicine	6.203	Sports Science	Q1	3.021	Orthopedics and Sports Medicine	Q1
Vieira de Melo et al. (2022)	J Rehabil Med	3.959	Rehabilitation	Q1	0.998	Rehabilitation	Q1

### 3.7. Diagrama de flujo

La suma total de artículos tras la búsqueda en las diferentes bases de datos fue de 161 resultados. Todos ellos fueron agregados al programa Zotero y se procedió a examinar los artículos duplicados. La cifra de artículos duplicados fue 24. Con los 137 artículos restantes se procedió a realizar una lectura tanto del título como del resumen para definir su relevancia en cuanto al tema en cuestión. Tras ello, 123 artículos fueron eliminados. Posteriormente, se obtuvo la puntuación de la escala PEDro (**Tabla 1** y **Tabla 2**) (74), de cada uno de los artículos seleccionados y se procedió a eliminar aquellos que tenían una puntuación mínima de cinco puntos. 1 de ellos no superó dicho filtro quedando 10 artículos. Del mismo modo aquellos artículos que no pertenecían al cuartil uno o dos, examinados previamente en JCR y SJR, fueron eliminados por carecer de relevancia, no obstante, todos ellos cumplieron el requisito, quedando finalmente 10 artículos (**Figura 6**).

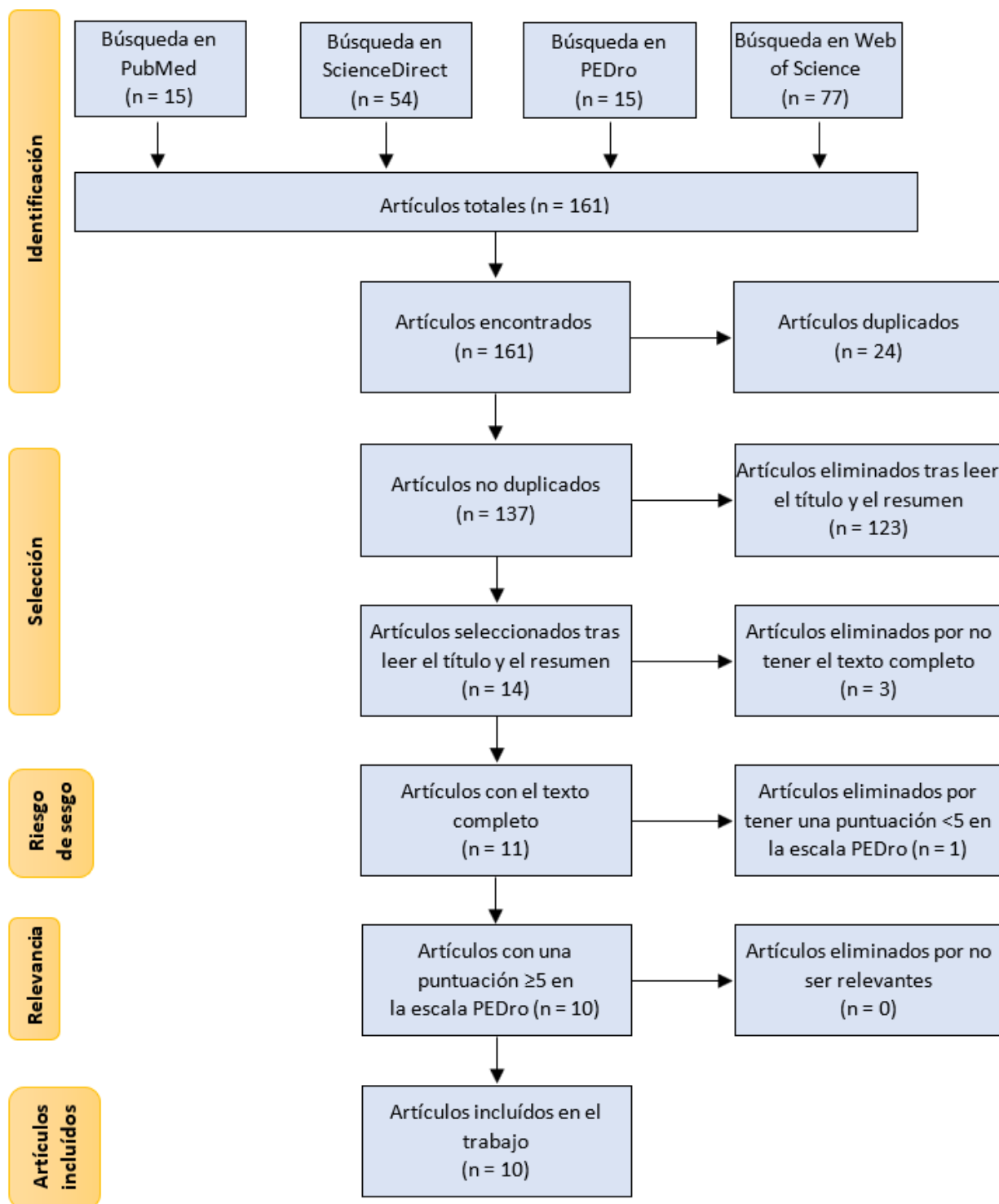


Figura 6. Diagrama de flujo. Elaboración propia

#### 4. RESULTADOS

El estudio de Ohta et al. (2003) (75) incluyó 44 participantes operados de la RLCA mediante un injerto del semitendinoso. Los pacientes se aleatorizaron en dos grupos (R: BFR y N: no BFR) de 22 sujetos cada uno. Ambos grupos realizaron un programa de ejercicio, pero únicamente uno usó la BFR.

Las variables que se midieron fueron el torque muscular isométrico (ISO) e isocinético (ISOCI) máximo de los músculos extensores y flexores de la rodilla (TM<sub>máx</sub> ISO e ISOCI) y el AST de los músculos femorales.

Durante la primera semana postoperatoria, tanto el grupo R como el grupo N realizaron la rehabilitación sin la BFR. A partir de la semana 2, el grupo R comenzó a incluir la BFR. Se realizaron ejercicios de elevación de la pierna recta (EPR) y de abducción de la articulación de la cadera mantenidos durante 5 segundos, 20 veces. Estos, se realizaron en 2 series diarias, 6 veces por semana durante las semanas 1 a 8 después de la cirugía. Durante la primera semana se realizó sin carga, en las semanas 2.3 y 4, se ató un peso de 1 kg al pie y de la semana 5 a 8, una carga de 2 kg. El ejercicio de aducción de la articulación de la cadera sosteniendo una pelota entre ambas rodillas y el del Q se mantuvieron durante 5 segundos al máximo esfuerzo, repetidos 20 veces. Estos se realizaron en 2 series diarias, 6 veces por semana durante las semanas 1 a 12 después de la cirugía. El ejercicio de media sentadilla se realizó manteniendo la posición de media sentadilla durante 6 segundos, repetido 20 veces. El “step-up” se realizó subiendo y bajando de un taburete de 25 cm de altura, repetido 20 veces. La media sentadilla se realizó en 2 series diarias y el ejercicio de step-up se realizó en 3 series diarias, 6 veces por semana durante las semanas 5 a 16 después de la cirugía, comenzando sin carga de la semana 5 a la 6 y en las semanas 7 a 8 se sostuvo una carga de 4 a 6 kg con ambas manos, después entre las semanas 9 a 12 se usó una carga de 8 a 10 kg y por último entre las semanas 13 a 16 se utilizó una carga de 12 a 14 kg. A partir de la semana 2, el grupo R comenzó a hacer actividad física con la BFR. Se realizó un ejercicio con un tubo elástico doblando la rodilla de 45 a 100 grados, 20 veces. Este se realizó en 1 serie diaria 6 veces por semana durante las semanas 9 a 12 después de la cirugía, dividido en 2 series diarias 6 veces por

semana durante las semanas 13 a 16 después de la cirugía. El ejercicio de caminar con FR se realizó caminando en una posición de medio cuclillas durante 60 pasos. Este se realizó en 3 series diarias 6 veces por semana durante las semanas 13 a 16 después de la cirugía.

Antes de la cirugía, las proporciones del lado lesionado respecto al lado sano de los músculos extensores y flexores de la rodilla, medidas en CC60, CC180 y IM60, fueron similares en los 2 grupos. A las 16 semanas de la cirugía, los cocientes correspondientes a los músculos extensores y flexores difirieron significativamente entre los 2 grupos en todas las mediciones ( $p < 0.05$ ). Antes de la cirugía, las proporciones lesionado/sano en el AST de los grupos musculares extensores, flexores y aductores (AD) fueron similares. A las 16 semanas después de la cirugía, las proporciones preoperatorias/postoperatorias del AST del grupo muscular extensor de la rodilla en el lado operado difirieron significativamente ( $p < 0.05$ ), mientras que en la musculatura flexora y AD los cambios fueron similares ( $p > 0.05$ ).

El estudio de Iversen et al. (2016) (79) incluyó un total de 24 pacientes que tenían planificada una cirugía de RLCA, mediante un injerto de H. Doce pacientes fueron asignados al azar al grupo de oclusión, donde se realizó el procedimiento de la BFR junto a ejercicio físico, y 12 pacientes fueron asignados al azar al grupo control donde únicamente se realizó ejercicio físico.

La variable de estudio fue el AST del Q.

La intervención comenzó el día 2 después de la cirugía y terminó el día 16. En el grupo experimental, se aplicó un manguito de oclusión neumático en la parte más proximal del muslo. El manguito se infló para proporcionar un estímulo de oclusión durante 5 minutos, seguido de la eliminación de la presión oclusiva durante 3 minutos. Esto se repitió cinco veces en una sesión de entrenamiento. Los sujetos estaban sentados con la parte superior del cuerpo inclinada a unos  $45^\circ$  durante la sesión. La presión inicial se fijó en 130mmHg con un aumento de presión de 10mmHg cada dos días, hasta una presión máxima de 180mmHg. Si el estímulo oclusivo causaba un dolor insoportable, se instruía a los sujetos para que usaran la presión más alta tolerable.



El grupo experimental realizó el protocolo de oclusión dos veces al día. Durante los intervalos de oclusión, los pacientes realizaron ejercicios de Q que consisten en contracciones ISO del Q, progresando a ER sobre un “foam roller” y elevaciones de piernas rectas. Los pacientes realizaron 20 repeticiones durante cada período de oclusión de 5 min, realizando 100 repeticiones por sesión y un total de 200 repeticiones diarias. El estímulo oclusivo terminó 14 días después de la cirugía, para evitar que la inflamación muscular interfiriera con las mediciones de la resonancia magnética. El grupo control siguió el mismo régimen de ejercicio, pero sin el estímulo oclusivo. Después de la cirugía realizaron el protocolo de oclusión como ejercicio en casa. Todos los pacientes tuvieron dos consultas durante el período experimental, 5 y 10 días después de la cirugía. Durante estas consultas se evaluó subjetivamente el grado de tumefacción y movilidad de la rodilla. Además, se controló la ejecución de los ejercicios de Q y el uso del manguito de oclusión. Todos los participantes registraron cada sesión de entrenamiento y el grupo de oclusión registró la presión del manguito utilizada.

La resonancia magnética tomada al 40% de la longitud del fémur, con referencia en la línea articular lateral de la rodilla, mostró una reducción en el AST del Q de  $(-9.7 \pm 1.0 \text{ cm}^2)$  (media  $\pm$  SD) y  $(-9.2 \pm 0.8 \text{ cm}^2)$  para los grupos de oclusión y control, respectivamente. La resonancia magnética tomada en el punto medio del fémur mostró una reducción en el AST del Q de  $(-13.7 \pm 0.9 \text{ cm}^2)$  y  $(-11.5 \pm 0.7 \text{ cm}^2)$  para los grupos de oclusión y control, respectivamente. El cambio medio en el AST del Q (40% y 50% de la longitud del fémur) fue de  $(-13.8\% \pm 1.1\%)$  y  $(-13.1\% \pm 1.0\%)$  para los grupos de oclusión y control, respectivamente. Por lo tanto, no hubo diferencia significativa en la pérdida de AST del Q entre los grupos después del período de intervención ( $p = 0.6265$ ).

El estudio de Zargi et al. 2018 (80) incluyó inicialmente 24 sujetos de los cuales 20 completaron el protocolo. Los voluntarios fueron seleccionados y reclutados entre los pacientes programados para una RLCA, mediante un injerto de los H. Los individuos se dividieron en dos grupos, un grupo de pacientes realizó ejercicio la BFR y el otro grupo realizó el ejercicio con la BFR placebo (PB-BFR).

Las variables de estudio fueron la fuerza y la REM, comprendida en mediciones del T<sub>M</sub>máx ISO y el tiempo de contracción ISO submáxima sostenida.

Los pacientes realizaron 5 sesiones de ejercicio, distribuidas equitativamente durante los últimos 8 días antes de la cirugía. Los pacientes realizaron un ejercicio de ER unilateral en cadena cinética abierta en una máquina de extensión de piernas (MEP) con la pierna afectada. Los pacientes del grupo BFR realizaron 6 series de ejercicios de ER hasta el fallo voluntario (FV) en cada sesión de ejercicio. Se ajustó un metrónomo a 56bpm para determinar el ritmo y la velocidad de ejecución. Se establecieron un máximo de 40 repeticiones para cada paciente antes de la primera sesión de ejercicio por ensayo y error. Después del calentamiento inicial de 10-15 repeticiones con 0.5 kg de carga, se inflaron los torniquetes a 150mmHg y tras 30 segundos de oclusión en reposo, el paciente comenzó a hacer ejercicio. A continuación de la primera, la tercera y la quinta serie, se permitieron 45 segundos de reposo sin reperfusión. Después de la segunda y cuarta serie se desinflaron los torniquetes para permitir 90 segundos de reperfusión. Los pacientes del grupo PB-BFR siguieron el mismo protocolo de ejercicio y replicaron el número de repeticiones por serie logrado por su pareja del grupo BFR. Se estableció una presión de manguito uniforme de 150mmHg utilizada en el grupo BFR y en el grupo PB-BFR, la presión de oclusión se fijó en solo 20mmHg, por lo que no se restringió el flujo sanguíneo muscular. Las mediciones se realizaron previo a la intervención preoperatoria, a las 4 y a las 12 semanas postoperatorias. Tras la operación los pacientes realizaron un protocolo de cuidados básicos durante 5 semanas para la ganancia de ROM, balance articular y propiocepción seguido de un programa de rehabilitación de 14 días para mejorar todavía más el ROM, la estabilidad articular y la fuerza muscular.

En cuanto a la fuerza y resistencia ISO muscular, hubo una disminución general en el T<sub>M</sub>máx ISO a lo largo del tiempo, sin embargo, no se encontró una interacción significativa de tiempo entre grupos. Doce semanas después de la cirugía, el déficit aumentó a (-19 ± 14 %) en el grupo BFR y (-20 ± 12 %) en el grupo PB-BFR, sin diferencias entre los grupos. La REM ISO mostró una interacción significativa de los factores de tiempo y grupo, donde el tiempo bajo contracción fue significativamente más corto ( $p < 0.001$ ) en el grupo PB-BFR en POST WK4 en comparación con el valor

inicial. En cambio, en el grupo BFR no hubo una disminución significativa del tiempo bajo contracción, ( $p = 0.029$ ) en POST WK4. En POST WK12, los resultados de la REM ISO se mantuvieron similares en el grupo BFR y volvieron a los valores preoperatorios en el grupo PB-BFR.

El estudio de Hughes et al. (2018) (81) incluyó 30 participantes divididos de forma equitativa en 3 grupos. Uno conformado por individuos no lesionados que realizaron un trabajo de resistencia o “resistance training” (RT) a cargas bajas con la técnica BFR (SA-BFR), otro igual, pero con pacientes operados de RLCA (RLCA-BFR) y el último conformado por pacientes RLCA realizando un RT con HL, (RLCA-HL). Todos los pacientes lesionados por rotura del LCA fueron operados mediante una plastia de los H.

Las variables de estudio fueron el RPE, el DM y el DR.

El protocolo de ejercicio se realizó en una sola sesión y previamente se llevó a cabo una familiarización y una toma de datos. Hubo una separación de 48 horas entre la sesión de familiarización y la intervención con el objetivo de no interferir en los resultados. Dicho programa comenzó con un calentamiento de 5 minutos en una bicicleta sin resistencia y cadencia libre, seguido de 10 repeticiones de prensa de pierna unilateral (PPU) con un peso autorregulado y 5 minutos de descanso. Los pacientes lesionados realizaron el ejercicio con la pierna afectada y los no lesionados con su pierna dominante. Los participantes del grupo SA-BFR y RLCA-BFR realizaron 4 series de 30, 15, 15, y 15, repeticiones respectivamente en la máquina de PPU, con un rango de movimiento (ROM) estandarizado y 30 segundos de descanso entre series a una intensidad del 30% de la repetición máxima (1RM). El ciclo de contracción concéntrica (C) y excéntrica (E) duró 1 segundo en cada fase, además se aplicó una presión de oclusión constante al 80% mediante el sistema BFR. El grupo RLCA-HL realizó el mismo ejercicio con un volumen de 3 series a 10 repeticiones por serie y descansos de 30 segundos. La intensidad a la cual se realizaron los ejercicios fue al 70% del 1RM. El cálculo del 1RM se realizó previamente con una prueba máxima C en una PPU al 10RM.

Se observaron diferencias significativas entre grupos en la variable RPE, ( $F(2,27) = 6.098, p < 0.01$ ). El RPE fue mayor en el grupo RLCA-BFR comparado con el grupo SA-BFR (diferencia de  $3.4 \pm 1$ , 95% CI: 0.825; 5.975,  $p < 0.01$ ). No hubo diferencias significativas entre el grupo RLCA-BFR y RLCA-HL (diferencia de  $2.5 \pm 1$ , 95% CI: -0.075; 5.075,  $p > 0.05$ ) y entre RLCA-HL y SA-BFR (diferencia de  $0.921 \pm 1$ , 95% CI: -1.675; 3.475,  $p > 0.05$ ). En cuanto al DM, este también fue significativamente diferente entre grupos ( $F(2,27) = 16.084, p < 0.01$ ). El DM fue más alto en el grupo RLCA-BFR comparado con el grupo SA-BFR (diferencia de  $2.7 \pm 1$ , 95% CI: 0.292; 5.058,  $p < 0.05$ ). A su vez, en RLCA-BFR fue más alto que en RLCA-HL (diferencia de  $5 \pm 1$ , 95% CI: 2.942; 7.758,  $p < 0.01$ ). Además, fue más alto en SA-BFR comparado con RLCA-HL (diferencia de  $3 \pm 1$ , 95% CI: 0.242; 5.058,  $p < 0.05$ ). En el DR no hubo diferencias significativas entre grupos ( $F(1,36) = 0.123, p > 0.05$ ). El DR en RLCA-BFR fue menor comparado con RLCA-HL (diferencia de 1.3, 95% CI: -1.890; -0.750,  $p < 0.01$ ).

El estudio de Korakakis et al. (2018) (82) incluyó 40 pacientes varones adultos que habían consultado a un médico de medicina deportiva en un entorno de atención primaria por quejas de dolor anterior de rodilla o "anterior knee pain" (AKP). Un total de 15 participantes habían sido operados de la RLCA y la población restante estaba conformada por pacientes con otras presentaciones clínicas como la menisectomía o reparación meniscal y dolor patelofemoral. En total, 20 sujetos que cumplieron con los criterios de elegibilidad fueron asignados aleatoriamente en el grupo de entrenamiento de fuerza LL y la BFR (LLRT-BFR), de los cuales 7 eran sujetos operados de RLCA, y los 20 participantes restantes fueron asignados al grupo LLRT sin BFR, de los cuales 8 eran sujetos operados de RLCA.

La variable de estudio fue el dolor antes de la aplicación de LLRT-BFR o LLRT y después de una sesión de fisioterapia realizando una sentadilla unilateral superficial y profunda o "shallow and deep single-leg squat" (SSLS, DSLS) y un "step down test" (SDT).

La única diferencia entre grupos en LLRT fue la aplicación o no de la BFR. LLRT consistió en un ejercicio de ER en cadena cinética abierta (90-0) realizadas lentamente con un tiempo de 2 segundos de fase C y 2 segundos de fase E, con el

ritmo de un metrónomo. Se dictó una carga máxima de 5 kg (pesos de tobillo) de modo que el paciente informó un máximo de 4/10 de dolor durante la familiarización. Se instruyó a los pacientes para que completaran cuatro series de ER de cadena cinética abierta, donde en la primera serie hacían las máximas repeticiones posibles seguidas de tres series de 15 repeticiones con 30 segundos de descanso entre series. La primera serie se daba por finalizada al fallar en seguir el ritmo del metrónomo o por no extender completamente la articulación de la rodilla. A los pacientes del grupo LLRT-BFR se les infló el manguito BFR durante toda la sesión. Inmediatamente después de la intervención, un fisioterapeuta cegado en la asignación de grupos y en la evaluación previa del dolor, calificó el dolor de los participantes en las mismas pruebas funcionales. Posteriormente, todos los participantes, independientemente de la asignación del grupo, realizaron una sesión de fisioterapia estandarizada a cargo de un fisioterapeuta cegado. La sesión consistió en un entrenamiento de resistencia de las extremidades inferiores, ejercicios de Core y de equilibrio. Finalmente, otro evaluador cegado volvió a examinar las pruebas funcionales y registró los niveles de dolor.

En cuanto a las diferencias dentro de grupos, se encontró una reducción significativa inmediata del dolor con tamaños de efecto de grandes a muy grandes en el grupo LLR-BFR en SSLS, DSLS y SDT (todos  $p < 0.001$ ;  $d = 1.32$ ,  $d = 1.12$ ,  $d = 0.88$  respectivamente), pero no se encontraron diferencias significativas (todos  $p > 0.017$ ) en el grupo LLRT donde los tamaños del efecto fueron de pequeños a moderados. Tras la sesión de fisioterapia de 45 minutos, la reducción del dolor se mantuvo en el grupo LLRT-BFR tanto en SLS como en SDT ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.32$ ,  $d = 0.78$ ,  $d = 0.89$  respectivamente). Para el grupo LLRT, solo se encontró una reducción significativa del dolor para SSLS ( $d = 0.56$ ), pero no para DSLS y SDT. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos inmediatamente después de la intervención o después de la sesión de fisioterapia. Hubo una reducción mayor del 117%, 237% y 82% en el dolor inmediatamente después de la intervención en el grupo LLRT-BFR en relación con el grupo LLRT en SLS, DSLS y SDT, respectivamente. Además, hubo una reducción mayor del 92%, 73% y 82% en el dolor posterior a la sesión de fisioterapia en el grupo LLRT-BFR en relación con el grupo LLRT en SLS, DSLS y SDT, respectivamente. Los

síntomas de ningún participante en LLRT-BFR empeoraron en comparación con el inicio en todos los puntos de seguimiento tanto en SLS como SDT, excepto un participante en SDT inmediatamente posterior a la intervención que tuvo un aumento de 0.5/10. En el grupo LLRT para cada prueba individual, el 20% de los participantes informó un aumento de los síntomas después de la intervención y el 15% después de la sesión de fisioterapia.

El estudio de Kilgas et al. (2019) (83) incluyó 18 participantes de los cuales 9 habían sido operados previamente de la RLCA, aproximadamente 5 años atrás, mediante injertos del semitendinoso y el tendón rotuliano y los 9 sujetos restantes carecían de lesión y pertenecieron al grupo control.

Las variables que se midieron fueron el volumen del recto femoral (RF) y del vasto lateral (VL), la fuerza extensora de la rodilla o fuerza muscular de piernas (FMP) a una sola pierna y el IS del RF y el VL tanto en fuerza como en volumen.

La intervención consistió en 5 entrenamientos semanales durante 4 semanas realizando ejercicios en casa junto a la BFR. Cada sesión de entrenamiento realizada en casa constaba de tres ejercicios, la ER con una sola pierna, medias sentadillas con el peso corporal y caminar, con una duración total de 25 minutos. Primero, los participantes realizaron 3 × 30 ER a una sola pierna usando la pierna afectada y una banda de resistencia (BR). A continuación, realizaron 3 × 30 medias sentadillas con el peso corporal a dos piernas. Finalmente, realizaron intervalos de caminar de 3 × 2 minutos a la velocidad de caminar preferida. Se descansó 1 minuto entre series y 2 minutos entre ejercicios. Durante cada ejercicio, se restringió el flujo sanguíneo de la pierna afectada utilizando un esfigmomanómetro. El manguito se envolvió alrededor del muslo y se infló al 50% de la presión requerida para ocluir el flujo sanguíneo en la arteria femoral. El manguito permaneció inflado durante el descanso de 1 min entre series, pero se desinfló durante el descanso de 2 min entre ejercicios. Durante el período de descanso de 1 minuto entre series, los participantes volvieron a sentarse para verificar la presión y ajustarla si era necesario. Además, cada semana los participantes realizaron una sesión de entrenamiento supervisada en el laboratorio para garantizar la técnica de ejecución de los ejercicios, ajustar el nivel de resistencia

si fuera necesario y verificar que la presión del manguito se haya configurado correctamente. Antes de cada sesión los participantes realizaron una media sentadilla con el peso corporal para evaluar el DM percibido en las piernas utilizando una escala analógica visual.

Para los participantes del grupo RLCA, el volumen del RF y del vasto externo y la fuerza extensora de la rodilla se redujeron en la pierna afectada en comparación con la pierna no afectada (todos  $p < 0.01$ ). Como era de esperar, los valores de simetría para el RF ( $87 \pm 5$  %) y el VL ( $90 \pm 6$  %) y la fuerza extensora de la rodilla ( $88 \pm 4$  %) fueron ( $\leq 90$  %) y, por lo tanto, se ubicaron en el rango de asimetría moderada. Los participantes de RLCA completaron el 98% del total de las sesiones de ejercicio y no hubo eventos adversos. El DM medio con el entrenamiento físico fue ( $<1.0$  cm) y no difirió entre las sesiones de entrenamiento ( $p > 0.05$ ). Hubo interacciones significativas entre la pierna y el tiempo para el grosor del RF y del VL (ambos  $p < 0.01$ ), lo que indica que la pierna afectada mostró un mayor cambio en el grosor del músculo Q en comparación con la pierna no afectada. Después del entrenamiento, el grosor del RF y del vasto externo en la pierna afectada aumentó ( $11 \pm 5\%$  y  $10 \pm 6\%$ , ambos  $p < 0.01$ ) respectivamente, pero no cambió en la pierna no afectada ( $p = 0.76$ ,  $p = 0.7$ ). Hubo una gran diferencia en el grosor del RF y el VL entre la pierna operada y las piernas no involucradas después del entrenamiento ( $p = 0.03$ ,  $p = 0.02$ ). Después del entrenamiento, la fuerza extensora de la rodilla aumentó ( $20 \pm 14$  %) en la pierna afectada ( $p < 0.01$ ) y no cambió en la pierna no afectada ( $p = 0.09$ ).

El estudio de Hughes et al. (2019a) (84) incluyó 28 pacientes seleccionados para ser operados de la RLCA, mediante un injerto de los H. Los pacientes fueron aleatorizados de modo que 14 formaron parte del grupo de RT con la BFR (BFR-RT) y 14 formaron parte del grupo de RT con HL, (HL-RT). El proceso de intervención lo finalizaron 12 sujetos por cada grupo, quedando 4 eliminados.

Las variables de estudio fueron el RPE, el DM y el dolor en la articulación de la rodilla (DR) tanto en la sesión como 24 horas después de la misma.

El procedimiento comenzó con una sesión de familiarización seguido de 4 sesiones experimentales en el periodo preoperatorio, postoperatorio, en el ecuador del protocolo y al final del protocolo. La intervención duró 8 semanas con dos entrenamientos semanales. Se realizó un calentamiento inicial de 5 minutos en una bicicleta sin resistencia y con libre cadencia, y 10 repeticiones de PPU con un peso autorregulado seguido de 5 minutos de descanso. Los participantes del grupo BFR-RT realizaron 4 series de 30, 15, 15, y 15, repeticiones respectivamente en la máquina de PPU con un ROM estandarizado, con 30 segundos de descanso entre series y a una intensidad del 30% del 1RM. El ciclo de contracción C y E duró 1 segundo en cada fase y además se aplicó una presión de oclusión constante al 80% mediante la BFR en el grupo BFR-RT. El grupo HL-RT realizó el mismo ejercicio con un volumen de 3 series a 10 repeticiones por serie y descansos de 30 segundos. La intensidad a la cual realizaron los ejercicios fue un 70% del 1RM. Primero se entrenó la extremidad lesionada y luego la extremidad no lesionada igualando las repeticiones realizadas, ambas con un porcentaje relativo de su 1RM, para igualar el volumen y la carga externa para intentar controlar cualquier efecto de transferencia cruzada al entrenar las extremidades de forma diferente. La carga de entrenamiento se incrementó un 10% si los pacientes fueron capaces de realizar todas las repeticiones en 2 sesiones posteriores y fue ajustada las siguientes 4 semanas de entrenamiento. El volumen de ejercicio (kg) se calculó como: número de repeticiones x carga (kg). El cálculo del 1RM se realizó previamente con una prueba máxima C en una PPU al 10RM.

En cuanto al RPE, no hubo efectos significativos de interacción de grupo x tiempo ( $p > 0.05$ ), pero sí hubo un efecto principal significativo del tiempo ( $F(7.941, 49.562) = 3.752, p < 0.01, d = 0.4$ ). Los resultados DR durante la sesión fueron satisfactorios para los participantes del grupo BFR-RT que tuvieron un menor dolor promedio en comparación con HL-RT durante cada sesión (todas  $p < 0.05$ , media  $d = 2.5$ , IC del 95 %: 2.2 a 2.8). La media de dolor post entrenamiento fue menor en el grupo BFR-RT en comparación con el grupo HL-RT en todos los tiempos de puntuación (todos  $p < 0.01$ , media  $d = 3.1$ , IC 95%: 2.9 a 3.3). Se observó una mayor disminución en el pico medio de DR post entrenamiento en el grupo BFR-RT en comparación con el grupo HL-RT después de las sesiones 4 a 10 (todas  $p < 0.01$ , media  $d = 1.9$ , IC del 95 %: 1.7 a 2.2). El



DM medio fue significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) en el grupo BFR-RT en comparación con el grupo HL-RT durante todas las sesiones.

El estudio de Hughes et al. (2019b) (85) incluyó 28 pacientes seleccionados para ser operados de la RLCA, con una plastia de los H. Inicialmente los pacientes fueron aleatorizados de modo que 14 formaron parte del grupo RT con la BFR (BFR-RT) y 14 formaron parte del grupo de RT con HL, (HL-RT). El proceso de intervención lo finalizaron 12 sujetos por cada grupo, 4 quedaron fuera.

Las variables de estudio fueron el TMmáx ISOCI, la FMP en 10RM, el volumen del VL, la FGR, el DR, el ROM, el derrame y la laxitud de la articulación de la rodilla.

El procedimiento comenzó con una sesión de familiarización seguido de 4 sesiones experimentales en el periodo preoperatorio, postoperatorio, en el ecuador del protocolo y al final del protocolo. La intervención duró 8 semanas con dos entrenamientos semanales. Se realizó un calentamiento inicial de 5 minutos en una bicicleta sin resistencia y con libre cadencia, y 10 repeticiones de PPU con un peso autorregulado seguido de 5 minutos de descanso. Los participantes del grupo BFR-RT realizaron 4 series de 30, 15, 15, y 15, repeticiones respectivamente en la máquina de PPU, con un ROM estandarizado, con 30 segundos de descanso entre series, y a una intensidad del 30% del 1RM. El ciclo de contracción C y E duró 1 segundo en cada fase y además se aplicó una presión de oclusión constante al 80% mediante BFR en el grupo BFR-RT. El grupo HL-RT realizó el mismo ejercicio con un volumen de 3 series a 10 repeticiones por serie y descansos de 30 segundos. La intensidad a la cual realizaron los ejercicios fue un 70% del 1RM. Primero se entrenó la extremidad lesionada y luego la extremidad no lesionada igualando las repeticiones realizadas, ambas con un porcentaje relativo de su 1RM, para igualar el volumen y la carga externa con el fin de controlar cualquier efecto de transferencia cruzada al entrenar las extremidades de forma diferente. Por lo tanto, BFR se aplicó en ambos miembros inferiores. La carga de entrenamiento se incrementó un 10% si los pacientes fueron capaces de realizar todas las repeticiones en 2 sesiones posteriores y fue ajustada las siguientes 4 semanas de entrenamiento. El volumen de ejercicio (kg) se calculó como:

número de repeticiones x carga (kg). El cálculo del 1RM se realizó previamente con una prueba máxima C en una PPU al 10RM.

Con respecto al T<sub>M</sub>máx ISOCl, se observó una mayor disminución en el par máximo de flexores de rodilla en todas las velocidades en el grupo HL-RT comparado con BFR-RT ( $p < 0.01$ ,  $d = 0.7-1.2$ ). Tras 8 semanas de entrenamiento, ambos grupos mejoraron la FMP en el 10RM significativamente (BFR-RT:  $104 \pm 18\%$  y  $33 \pm 12\%$ , HL-RT:  $106 \pm 21\%$  y  $40 \pm 16\%$ ) para los miembros lesionados y no lesionados, respectivamente, sin diferencia entre grupos ( $p = 0.22$ ,  $d = 0.3$  y  $p = 0.39$ ,  $d = 0.3$ ). En cuanto al volumen, ambos grupos experimentaron aumentos significativos en el grosor muscular ( $5.8 \pm 0.2\%$  y  $6.7 \pm 0.3\%$ ) y ángulo de penetración ( $4.1 \pm 0.3\%$  y  $3.4 \pm 0.1\%$ ) para BFR-RT y HL-RT, respectivamente, sin diferencias entre los grupos ( $p = 0.33$  y  $d = 0.4$ ,  $p = 0.28$  y  $d = 0.5$ ) para el grosor muscular y el ángulo de penetración respectivamente. En el ROM hubo disminuciones significativamente mayores en la diferencia de FR ( $-80\% \pm 27\%$  vs  $-42 \pm 13\%$ ) y diferencia de ROM ( $-78 \pm 22\%$  vs  $-42 \pm 16\%$ ) en el grupo BFR-RT en comparación con HL-RT. El DR disminuyó significativamente sin diferencias entre grupos del periodo preoperatorio al postoperatorio ( $p = 0.43$ ,  $d = 0.3$ ) y al finalizar la intervención hubo una mayor mejoría en términos de dolor en el grupo BFR-RT ( $67 \pm 10\%$  vs.  $39 \pm 14\%$ ). En cuanto al derrame desde el periodo preoperatorio al postoperatorio hubo un aumento significativo ( $p = 0.70$ ,  $d = 0.0$ ) y tras 8 semanas de entrenamiento hubo una mayor disminución del derrame en el grupo BFR-RT ( $-5.8 \pm 1.2\%$  vs  $-2.4 \pm 1.8\%$ ). La laxitud disminuyó significativamente del preoperatorio a la post intervención en ambos grupos, pero sin diferencia entre ellos ( $p = 0.87$ ,  $d = 0.1$ ).

El estudio de Curran et al. (2020) (86) incluyó 48 pacientes que fueron elegidos para una cirugía de RLCA en "Michigan Medicine" con plastias del tendón rotuliano, el tendón del semitendinoso y del tendón del Q. 10 pacientes abandonaron el estudio y 4 pacientes fueron excluidos entre la intervención y la vuelta a la actividad o "return to activity" (RTA) debido a dos lesiones y dos ausencias en el proceso de seguimiento. Finalmente participaron un total de 34 pacientes de los cuales 19 mujeres y 15 hombres. Los participantes se aleatorizaron en 4 grupos, uno de ejercicio (C) con 8

participantes, otro de ejercicio (E) con 8 participantes, y dos grupos iguales con 9 participantes cada uno, donde se les aplicó la técnica BFR, (C-BFRT) y (E-BFRT).

Las variables principales del estudio fueron, analizar los cambios desde el periodo preoperatorio, postoperatorio y RTA en el T<sub>M</sub>máx en ISO e ISOCI, el cambio de la FMP en la PPU mediante la 1RM, la FGR en la puntuación del cuestionario "International Knee Documentation Committee" (IKDC) y los cambios en el volumen del músculo RF.

En la intervención se realizaron dos entrenamientos por semana durante 8 semanas, un total de 16 sesiones de entrenamiento. Todos ellos ejecutaron el programa de ganancia de fuerza utilizando una PPU, con la colocación y los rangos de movimientos estandarizados. Se pidió a los participantes que realizaran 3 esfuerzos de ER a intensidad máxima, solo en la fase C, con 2 minutos de descanso entre cada repetición. La mejor repetición fue registrada como 1RM y guardada como 100% de intensidad máxima para el participante. Esta prueba del RM se realizó al inicio, una vez cada semana durante el programa y al final de este. De modo que se hicieron progresos semanales en la carga. Después de completar el 1RM, los participantes realizaron 5 series de 10 repeticiones de PPU con 2 minutos de descanso entre series. Tanto para los grupos de ejercicio (C) y (E), la primera de las 5 series de la PPU fue a modo de calentamiento, con una intensidad establecida del 20% del 1RM. En las series 2 a 5 se usó una intensidad específica al grupo de intervención. Los grupos (C-BFRT) y (C) entrenaron a una intensidad C del 70% de su 1RM y la intensidad E se mantuvo en un 20%. El grupo (E) y (E-BFRT) usaron una intensidad E en extensión establecida al 70% del 1RM y la intensidad C al 20%. Para los pacientes con BFRT se colocó un torniquete previo al ejercicio con una presión de oclusión en el miembro o "Limb Occlusion Pressure" (LOP) del 80%.

En los resultados no hubo diferencias significativas entre grupos del preoperatorio al postoperatorio en la máxima fuerza ISOCI ( $F_{3.33} = 0.57$ ;  $p = 0.64$ ) e ISO en extensión ( $F_{3.33} = 0.05$ ;  $p = 0.98$ ), CAR ( $F_{3.32} = 0.53$ ;  $p = 0.67$ ), y volumen del RF ( $F_{3.33} = 0.28$ ;  $p = 0.84$ ). Además, no hubo diferencias significativas entre grupos en el cambio de preoperatorio a RTA en máxima fuerza ISOCI ( $F_{3.33} = 0.58$ ;  $p = 0.63$ ) e ISO en extensión ( $F_{3.33} = 0.38$ ;  $p = 0.77$ ) y volumen del RF ( $F_{3.33} = 0.11$ ;  $p = 0.95$ ). Tampoco

se observaron diferencias significativas en el cambio de preoperatorio al postoperatorio en el IKDC (F3.33 = 0.96; p = 0.42), y volumen del RF (F3.32 = 0.36; p = 0.78) o 1RM (F3.33 = 1.45; p = 0.25). Del mismo modo no hubo diferencias significativas entre grupos en el cambio de preoperatorio a postoperatorio (F3.33 = 0.30; p = 0.83) o en el cambio de preoperatorio a RTA (F3.33 = 0.16; p = 0.93) para el cuestionario IKDC.

El estudio de Vieira de Melo et al. (2022) (87) incluyó 28 pacientes operados de la RLCA, mediante una plastia de los H, de los cuales 4 no finalizaron el proceso de intervención, quedando finalmente 24 personas. Estos se dividieron equitativamente en un grupo de intervención y en un grupo control. Ambos grupos realizaron un programa de entrenamiento de 12 semanas de duración, no obstante, el grupo de intervención hizo uso del método de BFR.

Las variables del estudio fueron el T<sub>M</sub>máx ISO, la FGR y el DR.

El grupo de intervención utilizó manómetros y una bolsa neumática en la región próxima al ligamento inguinal de la pierna derecha e izquierda. El grupo control realizó los mismos ejercicios propuestos sin ningún material de oclusión. Durante el entrenamiento, se utilizó el 80% de la presión de oclusión total. Las pruebas de una 1RM para el entrenamiento con BFR se realizaron en los ejercicios de PPU y de FR en silla. Primero se entrenó la extremidad lesionada, y luego la extremidad no lesionada igualó las repeticiones, cada una con un porcentaje relativo de su 1RM, para igualar el volumen y la carga externa y así controlar cualquier efecto de transferencia cruzada del entrenamiento de las extremidades. La BFR se aplicó en ambas extremidades por este motivo. La carga de entrenamiento se incrementó un 10% si los participantes completaban todas las repeticiones en 2 sesiones posteriores o en el último día de entrenamiento de las semanas 4, 8 y 12. Para cada ejercicio seleccionado, se utilizó el 30% del 1RM en el grupo de intervención y el 70% de 1RM en el grupo control. En la PPU, el grupo intervención trabajó con BFR a 1×30 y 3×15 y el grupo control sin oclusión realizó 3×10. En el ejercicio de la silla los pacientes realizaron FR-ER y se usó el mismo procedimiento que en la PPU. Los ejercicios se realizaron con una duración de las fases de 2 segundos en la contracción C y 2 segundos en la contracción E y el tiempo de descanso en cada serie fue de 30 segundos, medido en un reloj digital. La

presión se mantuvo durante la realización de todas las series de ejercicio. En el caso de ser necesario, la presión se ajustaba a intervalos de series, después del final del ejercicio.

Tras comparar los grupos de rehabilitación, se observó una mayor diferencia estadística en la fuerza muscular del Q e H ( $p < 0.01$ ) tras 12 semanas de entrenamiento en el grupo con BFR. En cuanto al DR en la primera evaluación la única diferencia estadística observada fue a las 4 semanas en el grupo que entrenó con BFR y con carga baja en el “Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score” (KOOS) en el subtema dolor ( $p < 0.01$ ). En cuanto a la FGR, en el KOOS en los subtemas síntomas y actividades diarias mostró mejoras significativas ( $p < 0.01$ ) a las 8 y 12 semanas y en CV ( $p < 0.01$ ) a las 12 semanas. En el cuestionario IKDC se observaron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) a las 8 y 12 semanas. Resultados similares se observaron con el “Lysholm Knee Scoring Scale” (LKSS), que obtuvo una diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) después de 8 y 12 semanas.

Tabla 6. Resultados 1. Elaboración propia

AUTOR	SUJETOS	VARIABLES	TEST	INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Ohta et al. (2003)	G1: 13♂ 9♀ RLCA 28 ± 9.7 A	TMmáx ISO e ISOCI de Q y H	Dinamómetro ISOCI	Duración: 16 semanas, 6 días/semana - G1 y G2:	Extensores: G1 > G2 Flexores: G1 > G2	Los hallazgos muestran que LL-BFR es efectivo para el entrenamiento muscular temprano después de RLCA en términos de conservación de fuerza y de masa muscular.
	G2: 12♂ 10♀ RLCA 30 ± 9.7 A	AST del Q y H	Resonancia magnética	<b>EPR (1-8S), ADD (1-12S), SQ (5-16S), SE (5-16S), TE (9-16S), CA (13-16S)</b> BFR → G1, 180mmHg	Extensores: G1 > G2 Flexores y AD: G1 = G2	
Iversen et al. (2016)	G1: 7♂ 5♀ RLCA 24.9 ± 7.4 A G2: 7♂ 5♀ RLCA 29.8 ± 9.3 A	AST del Q	Resonancia magnética	Duración: 2 semanas, 2 sesiones/día <b>ISO Q, ER, EPR</b> - G1 y G2: 5x20, 5x20 BFR → G1, 130-180mmHg	Pérdida de masa: G1 = G2	La aplicación de BFR los primeros 14 días después de la reconstrucción del LCA no redujo la atrofia del músculo Q medida por resonancia magnética en una población de atletas.

Leyenda: G: Grupo; ♂: Hombres; ♀: Mujeres; RLCA: Reconstrucción del ligamento cruzado anterior; A: Años; TMmáx: Torque muscular máximo; ISO: Isométrico; ISOCI: Isocinético; Q: Cuadriceps; H: Hamstrings; AST: Área de sección transversal; EPR: Elevación de pierna recta; ADD: Aducción; SQ: Squat; SE: Subida de escalón; TE: Tubo elástico; CA: Caminar; AD: Aductores; BFR: Blood flow restriction; LL: Low load; ER: Extensión de rodilla; EPR: Elevación de pierna recta.

Tabla 7. Resultados 2. Elaboración propia

AUTOR	SUJETOS	VARIABLES	TEST	INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Zargi et al. (2018)	G1: 8♂ 2♀ RLCA 34 ± 6 A	TMmáx ISO de Q	Dinamómetro ISOCI	Duración: 8 días, 5 sesiones <b>ER</b> - G1 y G2: 6xFV BFR → G1, 150mmHg. G2, 20mmHg	Pérdida de fuerza: G1 = G2	El acondicionamiento previo con BFR aumentó la REM ISO en mayor medida que el grupo sin restricción, no obstante, la pérdida de fuerza fue similar en ambos grupos.
	G2: 8♂ 2♀ RLCA 35 ± 5 A	REM ISO de Q	Dinamómetro ISOCI		G1 > G2	
Hughes et al. (2018)	G1: 10♂ Sanos 28 ± 5 A	RPE	Escala Borg	Duración: 1 sesión <b>PPU</b> - G1 y G2: 30% 1RM 1x30, 3x15 - G3: 70% 1RM 3x10 BFR → G1, G2 LOP 80%	G2 > G1 G2 = G3 G3 = G1	Las respuestas perceptivas y hemodinámicas en la aplicación de la BFR y bajas cargas de entrenamiento pueden no ser un factor limitante en la rehabilitación del LCA y puedan tener efectos favorables en el dolor durante y después del programa de entrenamiento.
	G2: 6♂ 4♀ RLCA 29 ± 5 A	DM	Escala Löllgen		G2 > G1 G2 > G3 G1 > G3	
	G3: 7♂ 3♀ RLCA 31 ± 7 A	DR	Escala Löllgen		G2 < G3	

Leyenda: G: Grupo; ♂: Hombres; ♀: Mujeres; RLCA: Reconstrucción del ligamento cruzado anterior; A: Años; TMmáx: Torque muscular máximo; ISO: Isométrico; Q: Cuadriceps; REM: Resistencia muscular; ISOCI: Isocinético; ER: Extensión de rodilla; FV: Fallo voluntario; BFR: Blood flow restriction; RPE: Rating of Perceived Exertion; DM: Dolor muscular; DR: Dolor de rodilla; RM: Repetición máxima; PPU: Prensa de piernas unilateral; LOP: Limb Occlusion Pressure.

Tabla 8. Resultados 3. Elaboración propia

AUTOR	SUJETOS	VARIABLES	TEST	INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Korakakis et al. (2018)	G1: 20♂ (7 RLCA) 29.1 ± 6.6 A G2: 20♂ (8 RLCA) 29.7 ± 7.6 A	DR	NRS, SSLs, DSLS y SDT	Duración: 1 sesión <b>ER</b> - G1 y G2: 0-5kg 1xMáx, 3x15 BFR → G1, LOP 80%	Disminución de dolor: G1 > G2	La reducción del dolor inducida por BFR recomienda esta intervención como un proceso de acondicionamiento previo a la rehabilitación de RLCA.
Kilgas et al. (2019)	G1: 3♂ 6♀ RLCA 26 ± 8 A G2: 3♂ 6♀ Sanos 26 ± 6 A	Volumen del RF y VL	Ultrasonido	Duración: 4 semanas, 5 días/semana <b>ER, SQ, CA, BR</b> - G1: 3x30 + BR, 3x30, 3x2min BFR → G1, LOP 50%	G1 > G2	El ejercicio en casa tiempo después de la operación con BFR mejoró la fuerza, el volumen muscular y la simetría de piernas en fuerza y volumen en los sujetos RLCA. Los resultados sugieren que el uso de BFR es apropiado desde el postoperatorio reciente hasta tiempo después de la operación para mejorar la función del Q.
		FMP	MEP		G1 > G2	
		IS del RF y VL	Ultrasonido MEP		De fuerza: G1 > G2 De volumen: G1 > G2	

Leyenda: G: Grupo; ♂: Hombres; ♀: Mujeres; RLCA: Reconstrucción del ligamento cruzado anterior; A: Años; DR: Dolor de rodilla; NRS: Numerical Rating Scale; SSLs: Shallow single leg squat; DSLS: Deep single leg squat; SDT: Step down test; ER: Extensión de rodilla; BFR: Blood flow restriction; LOP: Limb Occlusion Pressure; RF: Recto femoral; VL: Vasto lateral; IS: Índice de simetría; MEP: Máquina de extensiones de pierna; SQ: Squat; CA: Caminar; BR: Banda de resistencia; Q: Cuadriceps.



Tabla 9. Resultados 4. Elaboración propia

AUTOR	SUJETOS	VARIABLES	TEST	INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Hughes et al. (2019a)	G1: 7♂ 5♀ RLCA 29 ± 7 A	RPE	Escala Borg	Duración: 8 semanas, 2 días/semana <b>PPU</b> - G1: 30% 1RM 1x30, 3x15 - G2: 70% 1RM 3x10 BFR → G1, LOP 80%	G1 = G2	BFR-RT puede ser más cómodo, para pacientes con la RLCA, en las primeras fases de la rehabilitación postoperatoria. Cuando se compara con RT sin BFR.
	G2: 10♂ 2♀ RLCA 29 ± 7 A	DM	Escala Borg		G1 > G2	
		DR	Escala Borg		G1 < G2	

Leyenda: G: Grupo; ♂: Hombres; ♀: Mujeres; RLCA: Reconstrucción del ligamento cruzado anterior; A: Años; RPE: Rating of Perceived Exertion; DM: Dolor muscular; DR: Dolor de rodilla; PPU: Prensa de piernas unilateral; RM: Repetición máxima; BFR: Blood flow restriction; LOP: Limb Occlusion Pressure; RT: Resistance training; HL: High load.

Tabla 10. Resultados 5. Elaboración propia

AUTOR	SUJETOS	VARIABLES	TEST	INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Hughes et al. (2019b)	G1: 7♂ 5♀ RLCA 29 ± 7 A	TM <sub>máx</sub>	Dinamómetro	Duración: 8 semanas, 2 días/semana <b>PPU</b> - G1: 30% 1RM 1x30, 3x15 - G2: 70% 1RM 3x10 BFR → G1, LOP 80%	Pérdida de fuerza: G2 > G1 en ER	El presente estudio demuestra que BFR-RT puede mejorar la hipertrofia y la fuerza de forma similar a HL-RT con una mayor reducción en el dolor y derrame articular de la rodilla, lo que lleva a una mayor mejora general en la función física. El BFR-RT puede ser más apropiado después de RLCA.
		ISOCI en FR y ER	ISOCI		G2 > G1 en FR	
	G2: 10♂ 2♀ RLCA 29 ± 7 A	FMP	10RM PPU		G1 = G2	
		Volumen del VL	Ultrasonido		G1 = G2	
		FGR	IKDC, LEFS, LKSS y KOOS		Mejora de función: G1 > G2	
		DR	Subescala KOOS de dolor		G1 < G2	
		ROM	Goniometría		G1 > G2	
		Laxitud de R	Artrómetro		G1 = G2	
Derrame	Circunferencia	G1 < G2				

Legenda: G: Grupo; ♂: Hombres; ♀: Mujeres; RLCA: Reconstrucción del ligamento cruzado anterior; A: Años; TM<sub>máx</sub>: Torque muscular máximo; ISOCI: Isocinético; FR: Flexores de rodilla; ER: Extensores de rodilla; FMP: Fuerza muscular de piernas; VL: Vasto lateral; FGR: Función general de la rodilla; DR: Dolor de rodilla; ROM: Range of motion; PPU: Prensa de piernas unilateral; IKDC: International Knee Documentation Committee; LEFS: Lower Extremity Functional Scale; LKSS: Lysholm Knees Scoring Scale; KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score; RM: Repetición máxima; BFR: Blood flow restriction; LOP: Limb Occlusion Pressure; RT: Resistance training; HL: High load.

Tabla 11. Resultados 6. Elaboración propia

AUTOR	SUJETOS	VARIABLES	TEST	INTERVENCIÓN	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Curran et al. (2020)	G1: 3♂ 5♀ RLCA 16.5 ± 2.69 A	TMmáx ISO e IOSCI Q	Dinamómetro o IOSCI	Duración: 8 semanas, 5 días/semana <b>PPU 5x10</b> - G1 y G3: C 70% 1RM/E 30% 1RM - G2 y G4: C 30% 1RM/E 70% 1RM BFR → G3 y G4, LOP 80%	G1 = G2 = G3 = G4	La rehabilitación con BFR no tuvo mejoras significativas en la recuperación de la fuerza muscular activación o atrofia comparado con el entrenamiento de HL sin BFR.
	G2: 2♂ 6♀ RLCA 16.5 ± 2.69 A	FMP	1RM PPU		G1 = G2 = G3 = G4	
	G3: 5♂ 4♀ RLCA 16.5 ± 2.69 A	FGR	IKDC		G1 = G2 = G3 = G4	
	G4: 5♂ 4♀ RLCA 16.5 ± 2.69 A	Volumen del RF	Ultrasonido		G1 = G2 = G3 = G4	
Vieira de Melo et al. (2022)	G1: 8♂ 4♀ RLCA 41.1 ± 9.8 A	TMmáx ISO de Q y H	Dinamómetro de mano	Duración: 12 semanas, 2 días/semana <b>PPU, FR y ER</b> - G1: 30% 1RM 1x30, 3x15 - G2: 70% 1RM 3x10 BFR → G1, LOP 80%	Extensores: G1 > G2	Los ejercicios con BFR fueron más eficientes para la ganancia de fuerza muscular en los Q e H, y para la función general y el dolor de la articulación de la rodilla.
	G2: 9♂ 3♀ RLCA 39.6 ± 10.8 A				FGR	
			DR		Subescala KOOS	

Leyenda: G: Grupo; ♂: Hombres; ♀: Mujeres; RLCA: Reconstrucción del ligamento cruzado anterior; A: Años; TMmáx: Torque muscular máximo; ISO: Isométrico; Q: Cuadriceps; H: Hamstrings; FGR: Función general de la rodilla; DR: Dolor de rodilla; IKDC: International Knee Documentation Committee; LKSS: Lysholm Knees Scoring Scale; KOOS: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score; ADI: Actividad diaria; CV: Calidad de vida; PPU: Prensa de piernas unilateral; C: Concéntrico; E: Excéntrico; FR: Flexión de rodilla; ER: Extensión de rodilla; RM: Repetición máxima; BFR: Blood flow restriction; LOP: Limb Occlusion Pressure.



## 5. DISCUSIÓN

Desde hace años se conoce que los sujetos lesionados del LCA, presentan una fuerza muscular reducida y una atrofia muscular generalizada, especialmente en los músculos extensores de la rodilla (88). Además, se precisa de aproximadamente 4 a 6 meses para que el ligamento reconstruido madure y sea capaz de soportar cargas más elevadas. Durante este período postoperatorio temprano el ligamento es susceptible de sufrir una ruptura y es por ello por lo que, el entrenamiento de altas cargas debe ser evitado (89). White et al. (2013) (90) demostró que la recuperación de la fuerza del Q tras la cirugía promueve la mejora de la función de la articulación de la rodilla, por lo que el entrenamiento de fuerza, a pesar de no poder ser realizado a altas cargas, debe ser un pilar fundamental en la rehabilitación temprana. Con la finalidad de optimizar la rehabilitación tras la RLCA surge el entrenamiento LL junto a la aplicación de la técnica de BFR.

El objetivo de esta revisión sistemática fue recopilar la evidencia existente sobre el entrenamiento con BFR en pacientes lesionados del LCA y operados de la reconstrucción de dicho ligamento. El ejercicio físico resultó favorable en la mayoría de los grupos de estudio, tanto aquellos que usaron la técnica de BFR como aquellos que no la usaron. No obstante, los beneficios obtenidos a través del ejercicio físico junto a la BFR fueron significativamente mejores en 8 de 10 estudios en la mayoría de las variables analizadas.

En el ensayo de Ohta et al. (2003) (75) tras la intervención de 16 semanas, los participantes pertenecientes al grupo BFR mostraron mayores ganancias de fuerza en los Q e H. En cuanto al AST del conjunto muscular extensor, se observó una tendencia a la atrofia tras la cirugía en los sujetos que no hicieron uso de la BFR. Mientras que en el grupo BFR se observó una tendencia a la ganancia muscular. Sin embargo, en el conjunto muscular flexor no hubo diferencias significativas en el volumen muscular entre grupos. Según Akima et al. (2005) (91) la pérdida de masa muscular atribuida al periodo de descarga postoperatoria es mayor en el conjunto muscular extensor, mientras que la masa muscular del grupo flexor y AD es

generalmente conservada. Por lo tanto, una menor pérdida de masa muscular en los flexores de rodilla podría resultar en una mayor dificultad para la ganancia muscular. Los mecanismos subyacentes, que explican los cambios observados, se desconocen en el momento del estudio y son analizados en posteriores trabajos. Además, el entrenamiento muscular junto al uso del torniquete a una presión de 180mmHg supuso para algunos sujetos una ligera molestia y un dolor sordo en la extremidad inferior a partir de los 12 minutos de aplicación. Los participantes fueron instruidos para despresurizar el torniquete tras 15 minutos y descansar posteriormente de 15 a 20 minutos. Dos participantes abandonaron el estudio debido a la incomodidad. A parte de esto, no se observaron otras complicaciones a partir del entrenamiento de fuerza junto a la BFR. Finalmente, el estudio sugiere que el entrenamiento con la BFR es eficaz en la rehabilitación después de la RLCA, debido a que los hallazgos muestran la posibilidad de mitigar y revertir la atrofia muscular tras la operación. También se observaron varios problemas, tales como el malestar o el dolor durante el entrenamiento debido al torniquete, sin embargo, en futuros estudios se desarrollan protocolos de oclusión más confortables. Cabe destacar que el protocolo de ejercicio realizado en este estudio lo llevaron a cabo los pacientes de forma individual, al igual que en la intervención de Iversen et al. (2016) (79) y Kilgas et al. (2019) (83) donde se basaron en ejercicios en casa. La selección de ejercicios varió entre artículos, no obstante, los ejercicios SQ, C, ER y EPR se repitieron en los protocolos.

En el artículo de Iversen et al. (2016) (79) la intervención transcurrió durante las primeras 2 semanas postoperatorias. Pasados los 14 días, en los cuales los 24 sujetos operados de la RCLA realizaron el entrenamiento de fuerza, no se observaron diferencias significativas en el cambio del AST del Q entre grupos. La pérdida similar de masa muscular en los participantes sugiere la implementación de una intervención más prolongada, como la observada en Ohta et al. (2003) (75), donde sí que se observaron diferencias entre grupos. Además, la cantidad de ejercicio y la duración de la BFR necesaria para optimizar las adaptaciones después de la RLCA, son aspectos para considerar en el diseño de futuros trabajos de investigación. También, es probable que la intensidad del entrenamiento alcanzada realizando CO ISO Q, ER y

EPR fuera inferior al 10% de la fuerza máxima requerida para la hipertrofia muscular junto al uso de la BFR (92). Cabe destacar que la presión del torniquete fue inferior durante los primeros días de intervención, con un valor de 130mmHg, realizándose incrementos periódicos hasta los 180mmHg. Tampoco se realizaron ajustes individuales de la presión del manguito, y la población de estudio era reducida y estaba conformada por atletas. Esto último sugiere que el umbral para romper la homeostasis de dicha población era mayor, y que unido a la baja intensidad de entrenamiento no se obtuvieron cambios significativos en el volumen muscular. Con el objetivo de estandarizar e individualizar correctamente la presión de la técnica de BFR en otros estudios, se emplea el término LOP definido como la presión mínima requerida para la oclusión arterial total. Según Lixandro et al. (2015) (93), se sugieren presiones al 80% de la LOP para maximizar el reclutamiento de fibras de contracción rápida y las adaptaciones de fuerza. Otro estudio, realizado por Curran et al. (2022) (86) sugiere que una presión superior al 80% de la LOP es necesaria para obtener un efecto terapéutico significativo en pacientes operados de la RLCA. De los artículos recogidos en esta revisión, 6 emplearon una LOP al 80%, 1 empleó una LOP al 50% y 3 no emplearon el término LOP, donde la presión osciló entre 130mmHg y 180mmHg. En futuros estudios se sugiere el uso de la LOP para una mayor individualización y aunque existen ambigüedades sobre la presión óptima para la rehabilitación, se recomiendan presiones iguales o superiores al 80% de la LOP. La anchura del torniquete también es un determinante a tener cuenta, donde se ha visto que los sistemas oclusivos anchos provocan una mayor elevación de la frecuencia cardíaca, de la presión arterial local y central, del esfuerzo y del dolor percibido durante el ejercicio con la BFR (94). Finalmente, para el cálculo del tamaño muscular se ha recomendado la medición del volumen muscular como método más preciso que el AST. Por lo tanto, en futuros ensayos como Kilgas et al. (2019) (83), Hughes et al. (2019b) (85) y Curran et al. (2020) (86) se emplean métodos de medición más adecuados, como por ejemplo el ultrasonido que ha demostrado tener una buena precisión en comparación con la resonancia magnética en la detección de atrofia e hipertrofia del músculo Q con una sensibilidad del 73.7% y una especificidad del 74.2% (95).

El ensayo de Zargi et al. (2018) (80) es el único de la revisión en el cual se realizó una intervención de acondicionamiento previo a la cirugía. Tras los 8 días de trabajo los 20 sujetos fueron operados y se midieron variables de fuerza y REM del Q. A lo largo de la intervención y las mediciones postoperatorias se concluyó que la pérdida de fuerza muscular del Q en ambos grupos fue similar. Esto ocurrió al igual que en el artículo Zargi et al. (2016) (96), que utilizó un protocolo de intervención semejante, en el cual no se obtuvo un efecto positivo ni clínicamente relevante en la fuerza máxima del Q en ninguna medición postoperatoria. Sin embargo, la REM medida fue superior en el grupo BFR en comparación con el grupo PB-BFR. Existen ciertas teorías fisiológicas que tratan de explicar los fenómenos observados en los resultados. Por ejemplo, se observaron aumentos del 50% en el flujo sanguíneo muscular posterior al ejercicio en el grupo de intervención y una disminución del 30% en el grupo PB. A las 4 semanas de la reconstrucción se produjeron cambios en la regulación del tono vasomotor o en la densidad de la red de capilares musculares. Esto parece que mejoró la función microvascular del músculo en el conjunto de personas que utilizaron la BFR y la conservó hasta 4 semanas después de la cirugía. Mientras que el deterioro de la función microvascular estuvo presente en pacientes que usaron el manguito de oclusión PB. Se ha visto que la degradación de la red capilar del músculo esquelético prolonga la isquemia muscular (97) y retrasa su recuperación (98). Por lo tanto, el deterioro de la REM y del flujo sanguíneo en respuesta al ejercicio, observado en el conjunto PB, podría ser un signo del daño en la microcirculación muscular inducida por el torniquete quirúrgico. La disminución del flujo sanguíneo muscular sugiere que la función micro circulatoria del músculo Q se protegió con éxito en pacientes que llevaron a cabo el acondicionamiento previo con ejercicio y la BFR. Esta teoría es corroborada con los resultados del modelo de regresión multivariada que muestra que el deterioro de la REM del Q en el grupo PB-BFR se correlacionó fuertemente con la reducción en flujo sanguíneo muscular, mientras que en el grupo BFR no se encontró una correlación significativa. Concluyendo, este es el primer estudio que demuestra que el acondicionamiento previo, mediante el entrenamiento de baja carga con la BFR, tiene efectos significativamente positivos en la REM del Q después de RLCA en comparación con el entrenamiento en ausencia de la BFR. Sin embargo, ambos regímenes de entrenamiento no lograron revertir el



deterioro de la fuerza máxima del Q tras la cirugía. Finalmente, los autores sugieren optimizar el protocolo de acondicionamiento previo y el momento de aplicación antes de a la cirugía para la mejora de resultados.

La intervención realizada en el artículo de Hughes et al. (2018) (81) constó de una sola sesión de entrenamiento. Junto al trabajo realizado por Korakakis et al. (2018) (82) son los únicos ensayos en los que se presenta este tipo de estructura de intervención. Esto se debe a que las variables analizadas son de carácter subjetivo, como el RPE, el DM y el DR. En cuanto al RPE las únicas diferencias entre grupos se dieron en los sujetos RLCA-BFR y SA-BFR, donde el primero obtuvo mayores puntuaciones. A raíz del ensayo de Takarada et al. (2006) (99) ha sido demostrado que la oclusión proximal de un miembro durante el ejercicio físico resulta en una sobreestimación del RPE. Los mecanismos que explican este fenómeno no se conocen por completo, sin embargo, una de las teorías propuestas por Hollander et al. (2010) (100) y Takarada et al. (2016) (99) reside en que la conducción de los nervios periféricos es dificultada debido a la deformación mecánica durante la compresión provocada por el manguito oclusivo. Además, la inhibición de los nervios sensoriales cutáneos puede alterar la respuesta de las neuronas eferentes somáticas. En lo que respecta al DM, este fue superior en los grupos que hicieron uso de la BFR, donde la mayor puntuación la obtuvo la muestra RLCA-BFR. Se ha observado que existe una mayor percepción de DM con el uso de bajas cargas de entrenamiento junto a la técnica de BFR, con una mayor activación muscular (101) atribuida a la acumulación de metabolitos provocada por la oclusión venosa y la hipoxia (102). Esto último mencionado podría explicar los resultados obtenidos. Por otro lado, el DR está muy extendido en la población operada por la RLCA, especialmente en el compartimento anterior de la rodilla (103) y puede repercutir en la duración de la rehabilitación (104). Es por ello por lo que el manejo y la minimización del DR juegan un papel fundamental en el proceso de recuperación. En este estudio el DR se comparó en la población lesionada y se obtuvieron menores puntuaciones de dolor en el conjunto RLCA-BFR durante el proceso de intervención y a las 24 horas. El uso de menores cargas sobre la articulación, medidas a partir del 1RM, podría estar relacionado con una mejor

tolerancia en el periodo postoperatorio, al inducir un menor estrés mecánico. También, podría influir positivamente en el volumen de ejercicio durante las sesiones y en la adherencia del paciente a un programa de rehabilitación (105). Los hallazgos del estudio presente sugieren que las respuestas perceptivas de la intervención BFR-RE son similares o mayores que las de HL-RE en pacientes con RLCA. Investigaciones previas exponen que las respuestas perceptivas exacerbadas disminuyen después de algunas sesiones de ejercicio con la BFR en poblaciones no lesionadas (106), (107), lo cual supone un efecto adaptativo a la tolerancia mediante la exposición (108). Además, en futuros trabajos que estudian las respuestas perceptivas de la BFR como Hughes et al. (2019a) (84), donde se realiza una intervención de 8 semanas de duración, se observaron resultados favorables para poblaciones con RLCA. Los datos expuestos y los hallazgos del estudio sugieren que las altas respuestas perceptivas iniciales observadas pueden no ser un factor limitante cuando se usa la BFR en un programa de rehabilitación para sujetos RLCA (109).

En el estudio de Korakakis et al. (2018) (82), ya mencionado previamente, la intervención constó de una sola sesión de entrenamiento y la variable de análisis fue el DR. Los resultados obtenidos fueron más favorables para el grupo que hizo uso de la BFR, donde la disminución del dolor y la diferencia de efectos adversos reportados fue significativa. El estrés mecánico es uno de los factores a tener en cuenta en la presentación de DR, no obstante, en este ensayo ambos grupos trabajaron con cargas bajas. Esto sugiere que existen más factores que deben ser considerados para comprender la resolución de dolor en el uso de la BFR. Se han expuesto diferentes mecanismos que podrían estar influyendo, como la modulación condicionada del dolor a través de un efecto similar a los controles de condicionamiento nocivo, la liberación de sustancias endógenas relacionada con el ejercicio que inhiben vías nociceptivas, y la hipoxia inducida después del entrenamiento con la BFR (110). Según los resultados obtenidos, la realización de LLRT-BFR puede ser recomendable para reducir el DR antes de la rehabilitación. Esto se debe a que proporciona una ventana de oportunidades de aproximadamente 45 minutos inmediatamente después de la intervención para la ejecución de ejercicios con carga, que son típicamente asociados

con los síntomas. La variabilidad de presentaciones clínicas en términos de severidad de dolor y categorizaciones patológicas sugiere que los hallazgos pueden ser generalizables. En conclusión, debido a la seguridad y la efectividad de la intervención, la aplicación de LL-BFR resulta recomendable como proceso de acondicionamiento previo a la rehabilitación de la RLCA.

En el ensayo de Kilgas et al. (2019) (83) de los 18 participantes, a diferencia del resto de estudios recogidos, 9 habían sido operados de la RLCA hace 2 años o más tiempo atrás, con una media de 5 años. De modo que, en este artículo se evaluó el impacto del entrenamiento de fuerza junto a la técnica de BFR en sujetos de larga evolución, con secuelas persistentes como la debilidad y la atrofia muscular del Q. Las variables analizadas en los dos grupos, a lo largo de las 4 semanas de intervención, fueron el volumen del RF y VL, la FMP y el IS del RF Y VL. La intervención con ejercicio físico unido a la BFR aumentó el volumen muscular del RF y el VL, al igual que la FMP que aumentó en mayor medida en el miembro lesionado. Así pues, la asimetría del volumen muscular y de la FMP se redujeron considerablemente. Estos resultados respaldan el uso de ejercicio junto a la BFR para restaurar el tamaño del Q y la fuerza mucho tiempo después de la RLCA. Además, la intervención basada en ejercicios para el hogar puede aportar una mayor accesibilidad a los lesionados y garantizar la seguridad de estos siempre y cuando se les haya proporcionado instrucciones específicas y un seguimiento cuidadoso por parte del profesional de la salud. Cabe destacar, que en futuros trabajos como el de Vieira de Melo et al. (2022) (87) se propone el uso alternante de LLRT-BFR junto al HL-RT en fases avanzadas de la rehabilitación. No obstante, el uso de una LOP al 50% a lo largo de la intervención resulta confuso con respecto a los datos expuestos en otros estudios que recomiendan presiones iguales o superiores al 80%. Futuras intervenciones emplean una LOP más elevada que el estudio presente.

En el estudio de Hughes et al. (2019a) (84) las 24 personas operadas de la RLCA llevaron a cabo una intervención de 8 semanas y a diferencia de los trabajos de investigación de Hughes et al. (2018) (81) y Korakakis et al. (2018) (82) se realizó un

estudio más prolongado de las variables subjetivas RPE, DM y DR. El RPE fue similar en ambos grupos y se mantuvo estable a lo largo de la intervención y el DM fue mayor en el grupo que hizo uso de la BFR. Finalmente el DR durante el entrenamiento y 24 horas después tuvo mayores mejoras en el grupo BFR-RT en comparación con el grupo HL-RT, al igual que en artículos previos como el de Hughes et al. (2018) (81). Éste último artículo junto al de Korakakis et al. (2018) (82), sugieren que el BFR-RT puede tener un efecto analgésico mediado por la modulación del dolor, a través de los mecanismos previamente descritos. En lo que respecta al DM, investigaciones previas reportaron una disminución del dolor realizando BFR-RT y HL-RT en únicamente 6 sesiones de entrenamiento consecutivas (105). Por el contrario, en el estudio presente no se observó una atenuación del DM en ambos grupos hasta las últimas sesiones. Es probable que esto se deba a un aumento progresivo de la carga externa y a la individualización de la presión del torniquete, ya que ambas han demostrado tener un efecto de amplificación en la respuesta del DM (111–113). Cabe destacar que pese a obtener una mayor respuesta de DM en el grupo BFR-RT, esto no impidió que los pacientes completaran el entrenamiento ni resultó en una menor adherencia al entrenamiento en comparación con el HL-RT. Además, el aumento progresivo de las cargas también puede haber dado como resultado una respuesta estable y mantenida del RPE al ejercicio, ya que el RPE generalmente se asocia con la carga externa (114). Finalmente, y complementando a la información previa, se demuestra que la BFR resulta más cómoda para los pacientes durante las primeras fases de la rehabilitación postoperatoria, lo cual apoya su uso como herramienta de rehabilitación. Además, entrenar únicamente con cargas ligeras, menores al 30% del 1RM, seguramente reduciría el dolor en comparación con el HL-RT, pero no sería suficiente para desencadenar adaptaciones de fuerza y función. Por lo tanto, en el BFR-RT se consigue una capacidad de mejora similar que en el HL-RT, pero de una manera más cómoda y menos dolorosa.

El trabajo de Hughes et al. (2019b) (85) fue realizado al mismo tiempo que el artículo de Hughes et al. (2019a) (84) ya que emplearon la misma muestra e intervención, no obstante, analizaron variables diferentes. Este ensayo estudió el ROM, la laxitud y el

derrame de rodilla, aparte de variables como la fuerza muscular, el volumen muscular, la función y el dolor previamente vistas. La pérdida de fuerza medida de forma ISOCI tras la operación fue menor en el grupo de intervención que usó la BFR. Sin embargo, la FMP medida en la prensa, el volumen muscular del VL y la laxitud de rodilla fue similar en ambos grupos tras la intervención. También se encontraron hallazgos importantes en las variables FGR, DR, ROM y derrame articular donde los beneficios fueron mayores en el grupo que usó la BFR. La inhibición muscular artrogénica observada en procesos postoperatorios se asocia con el daño articular, el derrame y el dolor (63). Es por ello, que la reducción del dolor y el derrame observadas en el estudio puede haber contribuido a la mejora de la fuerza en la extremidad lesionada. Los cambios de fuerza observados también se podrían explicar a partir de la combinación de adaptaciones centrales, neurales y de hipertrofia muscular junto con el HL-RT (115). Del mismo modo, se ha demostrado que la excitabilidad cortico-motora aumenta después del BFR-RT, posiblemente debido a una retroalimentación sensorial de las fibras aferentes de tipo II y IV (116). Esto podría indicar una adaptación neuromuscular que ocurre con el BFR-RT además de la hipertrofia. En lo que respecta al volumen muscular se observaron mayores ganancias de la semana 5 a la semana 8 en comparación con las primeras 4 semanas, en ambos grupos, lo que sugiere que las primeras ganancias de fuerza fueron debido a adaptaciones neuronales en ausencia de hipertrofia. También se han observado mejoras en el rendimiento de las pruebas funcionales junto a una reducción del dolor y una mayor reducción del derrame, lo cual ha podido contribuir a una mayor mejora en el ROM en aquellos pacientes que usaron la BFR. Esto último es respaldado por un estudio que examinó el fortalecimiento de los músculos ER durante las primeras 3 semanas después de una cirugía de artroplastia total de rodilla donde se informó de un aumento en el ROM de FR junto con una disminución del dolor y el derrame (117). El grado de mejora obtenido en el ROM del estudio presente es similar al observado en investigaciones previas con BFR-RT en pacientes con la RLCA (75). De forma concluyente, se muestra que durante la fase de rehabilitación existen ciertas ventajas en el BFR-RT sobre el HL-RT como, por ejemplo, una mayor reducción del dolor y del derrame de rodilla que a su vez mejora la función física en mayor medida que el HL-

RT. Sumado a todo ello, no se observaron efectos perjudiciales sobre la hipertrofia muscular y las mejoras de fuerza.

El estudio de Curran et al. (2020) (86) junto al de Iversen et al. (2016) (79) son los únicos en los que el entrenamiento con BFR no mostró diferencias significativas con respecto al grupo control. En este primer ensayo se midieron variables de fuerza muscular, volumen muscular y función a partir de los 34 participantes operados de RLCA que llevaron a cabo una intervención de 8 semanas. A diferencia de otros artículos, en el presente se recogen datos en la fase de RTA. También, es el único ensayo en el que se examina el entrenamiento con la BFR a altas intensidades de entrenamiento, en concreto al 70% del 1RM. El grupo de investigadores tenía la hipótesis de que los beneficios observados a través del entrenamiento con la BFR a bajas intensidades se magnificarían con los ejercicios de altas intensidades y por lo tanto resultarían más favorables para los pacientes con RLCA. No obstante, los resultados no reflejaron dicha hipótesis y es posible que el entrenamiento con la BFR no sea más efectivo, en cuanto al aumento del volumen y la fuerza muscular, cuando se aplica con altas intensidades, ya que los mecanismos que conducen a las mejoras de la función muscular con la BFR no son aditivos. Los mecanismos que inducen la hipertrofia muscular se considera que son el aumento de la tensión mecánica y el estrés metabólico (118,119). El trabajo de Biazon et al. (2019) (120) mostró que mientras que el estrés metabólico fue mayor en ejercicios con la BFR a altas intensidades, las ganancias de fuerza y masa muscular fueron similares comparado con protocolos con menor estrés metabólico o tensión mecánica. Por lo tanto, los autores sugirieron que la síntesis de proteínas musculares alcanza su punto máximo con el ejercicio de HL y que agregar estrés metabólico al músculo puede no conducir a mejoras adicionales. Además, en el trabajo presente se realizó una distinción del tipo de contracción, donde los pacientes realizaron ejercicio C y ejercicio E según el grupo asignado. Investigaciones previas han demostrado que el ejercicio E junto al cuidado estándar en la rehabilitación del LCA da mejores resultados en la fuerza muscular, activación y volumen (121), (122) en comparación con la rehabilitación estándar únicamente. Por lo tanto, en el artículo en cuestión se planteó la hipótesis

de que los grupos que realizaran ejercicio E se verían más beneficiados en la rehabilitación en comparación con los sujetos que realizaran ejercicio C. Sin embargo, los resultados obtenidos no apoyan la hipótesis inicial dado que no hubo diferencias significativas entre grupos. Es posible que el ejercicio de PPU, independientemente de si es realizado de forma C o de forma E, conlleve a mejoras similares en fuerza y activación del Q. Los resultados del metaanálisis de Roig et al. (2009) (123) comprobaron que cuando los participantes sanos entrenaron a intensidades C o E comparables, no se percibieron diferencias en la fuerza total después del entrenamiento. Por lo tanto, el ejercicio E puede no ser superior al ejercicio C cuando se entrena con cargas comparables. En resumen, la aplicación de la BFR después de la RLCA, para la mejora de la fuerza y el volumen muscular, podría ser más beneficiosa durante las primeras fases postoperatorias cuando no es posible hacer ejercicio de HL y los beneficios del estrés metabólico en la síntesis de proteínas pueden ser mejor aprovechados.

En el estudio de Vieira de Melo et al. (2022) (87) los 24 participantes operados de RLCA fueron intervenidos durante 12 semanas y a lo largo de ese periodo se analizaron variables de fuerza, de función general y de dolor. El grupo de intervención que realizó el entrenamiento de fuerza junto a la BFR obtuvo resultados más beneficiosos, traducidos en una mayor ganancia de fuerza, una mejor FGR y un menor DR a partir de la cuarta semana postoperatoria. Además de evaluar la fuerza del Q, este ensayo fue el primero en evaluar la fuerza ISO de los H haciendo uso de un dinamómetro manual antes y después de la cirugía. Según Hughes et al. (2019b) (85) las ventajas de la BFR sobre el entrenamiento de resistencia sin oclusión residen en que inicialmente puede permitir una mayor reducción del dolor, con la consiguiente mejora del estado físico de los pacientes en términos de función y CV. Asimismo, los beneficios obtenidos en el ensayo no muestran efectos adversos o perjudiciales en la fuerza de los pacientes. En constancia con los estudios observados anteriormente, la aplicación de la BFR en una fase postoperatoria temprana resulta más beneficiosa en términos de fuerza muscular y función física en los pacientes con RLCA. Este tipo de entrenamiento puede servir como fase preparatoria para los ejercicios de HL,

especialmente en presencia de dolor o cuando no se toleran cargas elevadas (85), (81), (75). En el trabajo presente, sugieren la integración del protocolo BFR con bajas cargas de forma intercalada junto al entrenamiento convencional con altas cargas en fases más avanzadas de la rehabilitación. Todo ello con el objetivo de estimular otras adaptaciones musculoesqueléticas, anteriormente mencionadas, que se dan en el entrenamiento con la BFR durante la rehabilitación de la RLCA. En el artículo de Kilgas et al. (2019) (83) la intervención del protocolo BFR, que resultó beneficiosa en comparación con la intervención convencional, es realizada años después de la operación. Por lo que el entrenamiento oclusivo en fases avanzadas y de forma intercalada es un posible objeto de estudio, especialmente en aquellos pacientes que siguen presentando alteraciones de fuerza muscular, dolor y función física.



## 6. CONCLUSIONES

1. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA parece ser más efectivo que el entrenamiento LL sin la BFR, en sujetos sanos y con la RLCA, para la mejora de la fuerza de los H y los Q, la resistencia de los Q y el volumen muscular de los H y los Q.
2. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA parece ser más efectivo que el entrenamiento HL sin la BFR, para la mejora de la fuerza de los H y los Q.
3. El entrenamiento HL-BFR en pacientes con RLCA no es superior al entrenamiento HL sin la BFR, para el cambio en la fuerza del Q, el volumen del RF.
4. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA parece ser más efectivo que el entrenamiento LL y HL sin la BFR, para la mejora del DR.
5. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA conlleva un mayor DM que el entrenamiento HL sin la BFR y un RPE similar.
6. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA parece ser más efectivo que el entrenamiento HL sin la BFR, para la mejora de la FGR.
7. El entrenamiento HL-BFR en pacientes con RLCA no es superior al entrenamiento HL sin la BFR, para la mejora de la FGR.
8. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA parece ser más efectivo que el entrenamiento HL sin la BFR, para la mejora del ROM.
9. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA, hace 5 años aproximadamente, parece ser más efectivo que el entrenamiento LL sin la BFR, en sujetos sanos, para la mejora de la simetría en términos de fuerza y volumen muscular del VL y el RF.
10. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA es similar al entrenamiento HL sin la BFR, para el cambio de la laxitud de rodilla.
11. El entrenamiento LL-BFR en pacientes con RLCA parece ser más efectivo que el entrenamiento HL sin la BFR, para la mejora del derrame de rodilla.



## 7. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

### 7.1. Introducción

La técnica BFR se ha popularizado en los últimos años, especialmente en el tratamiento de patologías del miembro inferior. Las investigaciones recientes, en concreto en el ámbito de la RLCA, han aumentado el espectro de posibilidades dentro de la rehabilitación. Esta nueva modalidad de trabajo ha demostrado ser especialmente efectiva en las fases agudas postoperatorias, cuando la capacidad de trabajar con HL es limitada.

El entrenamiento con cargas superiores al 60-70% de la 1RM es generalmente necesario para inducir adaptaciones como la ganancia de fuerza y músculo (124). Sin embargo, en la literatura recopilada en la revisión, ha sido evidenciado que el entrenamiento a bajas intensidades, 20-30% del 1RM, combinado con la BFR ofrece adaptaciones similares. Por lo tanto, la aplicación de la técnica BFR puede ser recomendable en el abordaje agudo después de la RLCA, cuando el injerto todavía no es capaz de soportar HL-RT.

No obstante, como se ha mencionado previamente, las discapacidades generadas tras la RLCA persisten a menudo durante mucho tiempo tras la operación e incluso después de la rehabilitación postoperatoria. De modo que la inclusión de la técnica BFR junto con diferentes tipos de intensidades en fases avanzadas de la rehabilitación, puede ser un futuro objeto de estudio. Hoy en día no existe mucha investigación sobre los efectos de la incorporación de esta técnica en fases más avanzadas de la rehabilitación.

Un ejemplo de intervención en el largo plazo es el trabajo realizado por Kilgas et al. (2019) (83), que estudió los efectos de la BFR, en el volumen y la fuerza muscular, en sujetos operados de la RLCA 5 atrás. En este, se demostró la efectividad del tratamiento LL-BFR en comparación con LL.

No obstante, el estudio de los efectos de la intervención con la BFR tiempo después de la RLCA sobre otras variables como el DR, el DM, el RPE y la FGR se desconocen.

Actualmente se sabe que, gracias a los procesos curativos, el HL-RT no supone un riesgo en las fases más avanzadas de la rehabilitación y este debe ser incorporado en el tratamiento para el completo desarrollo de las aptitudes físicas (60). Sin embargo, el dolor persistente en dichas fases de la rehabilitación sí puede suponer una limitación. Especialmente en los sujetos que no han progresado durante el tratamiento como era esperado.

En el trabajo realizado por Curran et al. (2022) (86) se estudió la aplicación de HL-BFR en comparación con HL en las fases postoperatorias intermedias y avanzadas, hasta la RTA. Las variables analizadas fueron la fuerza, el volumen muscular y la FGR. En los resultados no se observaron diferencias significativas entre grupos. Teniendo en consideración los resultados obtenidos en este trabajo, el RT a HL junto con la BFR puede que no aporte beneficios aditivos al HL-RT por sí solo, en términos de volumen y fuerza muscular. Por lo que la perspectiva de futuros estudios va dirigida a las variables como el DR, el DM, el RPE y la FGR, mencionadas anteriormente.

## **7.2. Hipótesis**

El RT a diferentes intensidades de entrenamiento junto con la BFR es más efectivo que el LL-RT y el HL-RT por sí solo, para la disminución del DR y la mejora de la FGR.

## **7.3. Objetivos**

### **7.3.1. Objetivo principal**

Determinar el efecto del entrenamiento en las respuestas perceptivas y la función física trabajando a diferentes intensidades junto con la BFR en pacientes con secuelas persistentes tras la rehabilitación postoperatoria de la RLCA.

### **7.3.2. Objetivos secundarios**

- Estudiar el efecto del ejercicio físico junto a la técnica BFR en el DR.
- Analizar el impacto del ejercicio físico junto a la técnica BFR en el DM.
- Comprobar el efecto del ejercicio físico junto a la técnica BFR en el RPE.
- Examinar el impacto del ejercicio físico junto a la técnica BFR en la FGR.

## 7.4. Materiales y métodos

### 7.4.1. Diseño del estudio, población y muestra

El estudio consistirá en un ensayo clínico aleatorizado de 12 semanas, que se llevará a cabo en 60 personas operadas de la RLCA con una edad entre 18 y 55 años, las cuales serán contactadas a través de anuncios, periódicos, correos y presentaciones locales. Los participantes se dividirán en cuatro grupos iguales de forma aleatoria. Dos de ellos realizarán el RT junto a la BFR a diferentes intensidades: HL-BFR y LL-BFR. Los dos grupos restantes realizarán el mismo protocolo sin la BFR: HL-RT y LL-RT. El tamaño muestral se ha calculado utilizando técnicas estadísticas y la librería "sampleize" del programa R, versión 2.13.3. Se ha determinado a un nivel de significación del 95%, una potencia de 80% para detectar cambios significativos en las medias de las variables a medir.

### 7.4.2. Criterios de selección

#### a) Criterios de inclusión

- Personas operadas de la RLCA hace más de 9 meses
- Personas que hayan realizado una rehabilitación postoperatoria justo después de la RLCA
- Personas con dolor de rodilla: KOOS en el subapartado de dolor < 60 (**Anexo 3**)
- Personas con alteraciones en la FGR: LKSS < 64 (**Anexo 4**), IKDC < 64 (**Anexo 5**), KOOS en el subapartado de calidad de vida < 60 (**Anexo 3**)

#### b) Criterios de exclusión

- Antecedentes de trombosis venosa profunda
- Hipertensión (presión arterial sistólica/diastólica > 140 mm Hg/90 mm Hg)
- Insuficiencia renal
- Trastornos de coagulación o hematológicos
- Arteriopatía coronaria
- Otras enfermedades cardiovasculares
- Tabaquismo
- Embarazadas

- Lesiones asociadas a la rotura del LCA (fracturas, desgarros de menisco, lesiones de la médula ósea y lesiones del cartílago articular)

#### 7.4.3. Valoración

Antes del comienzo del estudio un fisioterapeuta realizará una entrevista personal, y una valoración física a los participantes con el objetivo de verificar su aptitud para realizar las pruebas de medición y el protocolo de entrenamiento. El procedimiento de valoración tendrá una duración de dos sesiones divididas en dos días. En la primera se llevará a cabo la entrevista personal y en la segunda se realizará una valoración inicial, para recabar la máxima información posible y además se detallará la información de la intervención.

La **primera sesión** comenzará con una recopilación de los datos personales del paciente:

- Nombre y apellidos.
- Sexo.
- Edad.
- Lesiones o enfermedades actuales.
- Tratamiento actual o pasado (en el caso de sufrir lesión o enfermedad).
- Uso de medicamentos.
- Antecedentes personales.
- Antecedentes familiares.
- Profesión.
- Hobbies y deportes.
- Uso de medicamentos.

La segunda parte de la entrevista irá dirigida hacia los aspectos más relacionados con la patología:

- Motivo de la consulta.
- Mecanismo lesional.
- Pre y post operatorio de la RLCA.
- Rehabilitación postoperatoria.
- Progresión del dolor: empeoramiento, mejora o neutro.

- Aparición del dolor: al movimiento, en reposo, a la mañana, a la tarde, durante el sueño.
- Descripción del dolor: continuo, punzante, esporádico, quemazón.
- Limitaciones asociadas a la lesión.
- Otras presentaciones anormales: Sensación de inestabilidad del miembro inferior, debilidad, entumecimiento, inflamación.
- Pruebas diagnósticas realizadas.

En la **segunda sesión** se realizará una examinación física:

- Valoración estática y dinámica: se realizará un análisis postural estático en los planos sagital y frontal y un análisis dinámico de la marcha.
- Palpación de las estructuras óseas: se llevará a cabo una palpación de las estructuras de la articulación de la rodilla como la rótula, los cóndilos tibiales y femorales y las interlíneas articulares de la rodilla. Esto se realizará tanto en el lado sano como en el afectado, con el fin de realizar una comparativa.
- Palpación de la musculatura del miembro inferior: para complementar la palpación se realizará una valoración de las estructuras blandas cercanas a la articulación de la rodilla como los Q, H, AD, gastrocnemios, soleos y tibiales anteriores y posteriores.
- Valoración de la movilidad activa y pasiva: la evaluación de la movilidad se dará en el todo el miembro inferior con el objetivo de valorar toda la cadena cinética, por lo tanto, se analizarán los movimientos de la rótula en todas las direcciones, la flexión, extensión y rotaciones de cadera y rodilla, la flexión plantar y dorsal, y la inversión y eversión del tobillo.
- Valoración de la fuerza muscular: antes de realizar la valoración de la fuerza a partir del RM se llevará a cabo un análisis de la competencia muscular a partir de la escala de fuerza muscular modificada "Medical Research Council" (**Anexo 6**) (125).

Después de la examinación, se informará a los pacientes de los detalles de la intervención como la duración, la estructura, los tratamientos aplicados, los posibles beneficios y las posibles complicaciones, además de explicar la voluntariedad de la participación en el estudio. Los posibles beneficios de la intervención pueden ser la



disminución del DR y el aumento de la FGR. Las posibles complicaciones de la intervención pueden ser la agudización del DR, un empeoramiento de la FGR y el aumento del DM y el RPE durante la actividad. Por último, se proporcionará el consentimiento informado (**Anexo 7**) que deberá ser firmado para la participación en el protocolo de intervención.

#### 7.4.4. Aleatorización, enmascaramiento y cegamiento

Después del proceso de inclusión, los sujetos aptos para realizar el programa de entrenamiento serán aleatorizados por una persona ajena al estudio. El procedimiento se llevará a cabo mediante un sistema de aleatorización ([www.randomizer.org](http://www.randomizer.org)), la asignación de grupos será oculta y se utilizará un diseño de bloques permutados para aleatorizar y estratificar a los participantes por sexo y edad (ratio de asignación 4:4:4:4). Además, la recogida de información y el análisis de los datos será realizado por profesionales cegados a la asignación de los participantes a los grupos de estudio.

### 7.5. Intervención

#### 7.5.1. Variables y toma de datos

Las variables primarias del estudio son el DR y la FGR y las variables secundarias son el DM y el RPE. El procedimiento de toma de datos se basará en el artículo de Hughes et al. (2019a) (84) y es representado en la (**Tabla 12**) en la cual se observan dos semanas de mediciones, que se repetirán sucesivamente hasta la semana 12. El DR junto con el DM y el RPE se evaluarán mediante las escalas de dolor y RPE de Borg (**Anexo 8 y Anexo 9**) (126) inmediatamente después de cada serie de ejercicio y se realizará un promedio de los datos para obtener una medida general para cada sesión de entrenamiento. El RPE, el DM y el DR se evaluarán en la pierna lesionada, además, los participantes recibirán instrucciones verbales sobre las mediciones durante la sesión de familiarización y en las posteriores sesiones de entrenamiento. La escala de Borg del dolor (**Anexo 8**), utilizada para el DR y el DM, tiene un rango numérico del 0 al 10, siendo el 0 no tener dolor y el 10 tener el máximo dolor imaginable. Para facilitar la diferenciación de las sensaciones entre estas dos variables se les explicará a los participantes que el DR es un dolor que deben sentir dentro de la cápsula articular de la rodilla. Los participantes también recibirán una copia de la escala Borg

del dolor (**Anexo 8**) y se contactará con ellos 24 horas después de cada sesión de entrenamiento para obtener una valoración del DR después del entrenamiento. La escala Borg para el RPE (**Anexo 9**), tiene un rango numérico del 6 al 20, siendo el 6 no sentir ningún esfuerzo y el 20 sentir un esfuerzo máximo. En cuanto a la valoración de la FGR, esta se llevará a cabo mediante los cuestionarios LKSS (**Anexo 4**), IKDC (**Anexo 5**) y KOOS (**Anexo 3**)

El cuestionario LKSS (**Anexo 4**) (127) tiene como propósito la evaluación de la FGR tras una cirugía ligamentosa, particularmente los síntomas de inestabilidad. La escala más actualizada contiene 8 ítems: 1) cojera, 2) apoyo, 3) bloqueo, 4) inestabilidad, 5) dolor, 6) hinchazón, 7) subir escaleras, 8) agacharse/sentadilla. A cada posible respuesta de cada ítem se le asigna una puntuación arbitraria. La suma de las respuestas de cada ítem tiene una puntuación total de 100 puntos, una calificación de 100 significa no tener síntomas o discapacidad, de 95 a 100 es una FGR excelente, de 84 a 94 es una buena FGR, de 65 a 83 es una FGR razonable y por debajo de 64 es una FGR pobre.

El cuestionario IKDC (**Anexo 5**) (128) se utiliza para detectar mejoría o empeoramiento de los síntomas, la función y las actividades deportivas, debido a la discapacidad de rodilla. La escala contiene 18 ítems, 7 están dedicados a los síntomas, 1 a la participación en deportes, 9 a las actividades diarias y 1 a la función actual de rodilla. Algunos ítems tienen respuestas dicotómicas, otros funcionan a partir de una puntuación de Likert de 5 puntos y otros funcionan con una escala numérica de 11 puntos. La puntuación posible es de 0 a 100 y un resultado de 100 significa no tener limitación con actividades de la vida diaria o realizar actividades deportivas en ausencia de síntomas.

El cuestionario KOOS (**Anexo 3**) (129) tiene como propósito recoger las opiniones de los pacientes sobre su rodilla y los problemas asociados en el corto y en el largo plazo. Contiene 42 ítems divididos en 5 subescalas: 1) frecuencia y severidad del dolor durante las actividades funcionales, 2) presencia de síntomas como rigidez, hinchazón, roce o chasquido, bloqueo y restricción del ROM, 3) dificultad experimentada durante las actividades de la vida diaria, 4) dificultad experimentada durante actividades recreativas y deportes y 5) calidad de vida relacionada con la

rodilla. Todos los ítems son evaluados mediante una escala Likert de 5 puntos. Cada uno se puntúa por lo tanto del 0 al 4 y el resultado total se transforma en una escala del 0 al 100, en la cual, 0 supone tener problemas de rodilla extremos y 100 no tener problemas.

En primer lugar, se realizará una medición para obtener el LOP máximo de los sujetos asignados a los grupos BFR (**Anexo 10**) (130). El protocolo de aplicación de la BFR está basado en el de Vieira de Melo et al. (2020) (87) y se realizará únicamente en la pierna lesionada. Se utilizarán manómetros de 10x80cm de ancho y una bolsa neumática de 7x52 cm (Cuff Scientific Leg – WCS, Curitiba, Paraná, Brasil). La colocación se realizará en la región cercana al ligamento inguinal. Para determinar la presión de oclusión vascular se empleará un dispositivo Doppler portátil ((ICC=0,795) (DV 610B®; MEDMEGA, Franca, São Paulo, Brasil)). Antes de colocar los dispositivos, los pacientes descansarán 15 minutos en posición supina. Tras el descanso se medirá el flujo sanguíneo de la arteria tibial con el dispositivo mencionado, que funciona como transductor de una señal de infrarrojos con la ayuda de un gel. Posteriormente se inflará el torniquete con la bolsa neumática a su presión mínima hasta que el pulso arterial no se detecte. El pulso no se medirá hasta que se alcance la oclusión total. En este momento, la presión indicada por el manómetro será la LOP al 100% y acto seguido se desinflará el dispositivo. Esta medición será repetida por todos los participantes el primer día de cada semana para individualizar la presión de oclusión con el objetivo de garantizar su seguridad (70,131). Durante el entrenamiento los participantes asignados a los grupos BFR emplearán una LOP del 80%, siguiendo recomendaciones previas (132).

En segundo lugar, se calculará la fuerza muscular del 1RM para la prescripción de la carga de trabajo en la intervención. El protocolo de medición del 1RM se basa en el artículo de Hughes et al. (2019a) (84). La prueba de máximas repeticiones ejecutables se realizará en una PPU y una máquina de FR y de ER. Debido a que el dolor puede interferir en las mediciones del 1RM se calculará el 10RM para predecir el 1RM de cada individuo. El procedimiento será similar en las 3 máquinas utilizadas y habrá un tiempo de descanso entre mediciones para evitar la influencia de la fatiga. Inicialmente se realizará un calentamiento de 5 minutos en una bicicleta estática sin

resistencia, posteriormente se realizarán 10 repeticiones en cada máquina con un peso seleccionado por el sujeto. Finalmente se realizarán incrementos de 5kg, con 3 minutos de descanso entre intentos, hasta alcanzar la máxima carga levantada a 10 repeticiones con un ROM completo de 0 a 90 grados de FR. El cálculo del 1RM se realizará cada segundo lunes de entrenamiento hasta la semana 10, con el objetivo de adaptar la carga de entrenamiento a lo largo del protocolo. El cálculo del RM se hará con antelación al protocolo de ejercicio y con suficiente descanso para evitar interferencias en el entrenamiento a causa de la fatiga.

Tabla 12. Variables y toma de datos. Elaboración propia

MEDICIONES		DR	DR + 24h	DM	RPE	FGR	LOP	RM
SEMANA 1	Lunes							
	Martes							
	Jueves							
	Viernes							
SEMANA 2	Lunes							
	Martes							
	Jueves							
	Viernes							

### 7.5.2. Protocolo de intervención

El protocolo de intervención (**Tabla 13**) tendrá una duración de 12 semanas y la frecuencia de entrenamiento será de 2 días semanales. En la tabla adjunta se observan únicamente dos semanas de entrenamiento, no obstante, el patrón se repite cada dos semanas hasta la semana 12. Los participantes acudirán los lunes y jueves al polideportivo de la Universidad Pública de Navarra para la realización del protocolo. Los grupos de entrenamiento HL realizarán los ejercicios (**Tabla 14**) con una intensidad equivalente al 80% del 1RM y los dos restantes entrenarán con LL, con una intensidad equivalente al 30% del 1RM.

Para el ejercicio de la PPU se usará el equipo (Matrix Ultra Leg Press G7-S70). Los sujetos se sentarán en la máquina con un apoyo firme de la espalda en el respaldo, con la pierna lesionada flexionada unos 90 grados, y el pie colocado en el dibujo de la máquina para que la cadera, la rodilla y el tobillo permanezcan alineados. El ROM

del equipo se configurará para funcionar de los 90 a 0 grados de FR. Para determinar el ritmo y la velocidad de la fase concéntrica y excéntrica del movimiento se usará un metrónomo a 35 pulsos por minuto; dos pulsos para la fase excéntrica y un pulso para la fase concéntrica de la contracción muscular. La extremidad lesionada se entrenará primero y posteriormente se igualarán las repeticiones con la pierna contralateral. Cada una con un porcentaje relativo de su 1RM, para igualar el volumen y la carga externa empleada, y así controlar cualquier efecto de transferencia del entrenamiento cruzado. El volumen de entrenamiento se calculará como: número de repeticiones  $\times$  carga (kg). Para cada ejercicio se realizarán 3 series de 10 repeticiones con un descanso de 2 minutos, como en el trabajo realizado por Curran et al. (2020) (86). Los descansos entre ejercicios serán de 3 minutos y seguirán el siguiente orden: PPU, FR y ER.



Para la ejecución de los ejercicios de ER y FR se usarán las máquinas (Matrix Ultra Leg Extension G7-S71) y (Matrix Seated Leg Curl G7-S72) respectivamente. Se realizarán de forma unilateral con un metrónomo a 45 pulsos por minuto para determinar el ritmo y la velocidad; dos pulsos para la fase excéntrica y un pulso para la fase concéntrica de la contracción muscular. El ROM también será seleccionado entre los 0 y 90 grados de FR y se seguirán las mismas pautas que en el ejercicio PPU.

A los pacientes del grupo HL-BFR y LL-BFR se les colocará el manguito oclusivo antes de cada ejercicio y este no será retirado hasta finalizar las 3 series. Posteriormente podrán descansar 3 minutos sin LOP hasta el comienzo del siguiente ejercicio.

Tabla 13. Protocolo de entrenamiento. Elaboración propia

PROTOCOLO		PPU	DESCANSO	FR	DESCANSO	ER
<b>1 TEST RM</b>						
SEMANA 0-1	LUNES	3x10	3 min	3x10	3 min	3x10
	JUEVES					
<b>2 TEST RM</b>						
SEMANA 2-3	LUNES	3x10	3 min	3x10	3 min	3x10
	JUEVES					

Tabla 14. Ejercicios del protocolo. Elaboración propia

EJERCICIO	POSICIÓN INICIAL	POSICIÓN FINAL
<p><b>PRENSA DE PIERNA</b></p>		
<p><b>FLEXIÓN DE RODILLA</b></p>		
<p><b>EXTENSIÓN DE RODILLA</b></p>		

7.6. Etapas de desarrollo y distribución de tareas.

		2023					2024			
TAREAS		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
Reclutamiento y toma de datos basales	Reclutamiento: criterios de inclusión/exclusión	█								
	Valoración física para el proceso de inclusión		█							
	Firma del consentimiento informado		█	█						
	Toma de datos basales			█						
Aleatorización e intervención	Aleatorización			█						
	Primer mes de intervención				█					
	Segundo mes de intervención					█				
	Tercer mes de intervención						█			
Análisis	Toma de datos post-intervención							█		
	Interpretación de los resultados								█	
	Discusión de los resultados								█	
	Conclusión								█	

### **7.7. Resultados previstos.**

Tras el protocolo de intervención el equipo investigador prevé unos resultados especialmente favorables para los grupos BFR. De modo que, el RT a diferentes intensidades de entrenamiento, LL y HL, junto con la BFR se espera que sea más efectivo que el LL-RT y el HL-RT por sí solo. Por lo tanto, se espera una mayor disminución del DR y una mayor ganancia de FGR en los grupos que hagan uso de la BFR. Mientras que para las variables DM y el RPE, se espera un resultado similar entre los grupos con las mismas intensidades de trabajo.



## 8. AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, quiero agradecer a mis familiares más cercanos, en concreto a mis padres que me han estado apoyando durante toda la realización del proyecto y la carrera universitaria.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis compañeros de clase, los cuales me han acompañado durante este proceso de aprendizaje y con los que he compartido muchos momentos inolvidables.

También doy las gracias a Mitxelko Sánchez por ayudarme pacientemente con el formato de mi trabajo y con la resolución de mis dudas.

Por último y no menos importante, dar las gracias a mi tutora Paula Camelia Trandafir por haber mostrado una plena disponibilidad y haber invertido tanto tiempo en la resolución de mis dudas y en la corrección del trabajo.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Mishra S, Mylarappa A, Satapathy D, Samal S. Morphometric Analysis of Anatomy of Anterior Cruciate Ligament of Knee and its Attachments - a Cadaveric Study in Indian Population. *Malays Orthop J.* 2021;15(3):8-14.
2. Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* 2012;22(4):349-55.
3. Murawski CD, Wolf MR, Araki D, Muller B, Tashman S, Fu FH. Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Current Concepts and Future Perspective. *Cartilage.* 2013;4(3):275-375.
4. Ferretti M, Levicoff EA, Macpherson TA, Moreland MS, Cohen M, Fu FH. The fetal anterior cruciate ligament: an anatomic and histologic study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2007;23(3):278-83.
5. Li G, DeFrate LE, Sun H, Gill TJ. In vivo elongation of the anterior cruciate ligament and posterior cruciate ligament during knee flexion. *Am J Sports Med.* 2004;32(6):1415-20.
6. Giuliani JR, Kilcoyne KG, Rue JPH. Anterior cruciate ligament anatomy: a review of the anteromedial and posterolateral bundles. *J Knee Surg.* 2009;22(2):148-54.
7. Sidles JA, Larson RV, Garbini JL, Downey DJ, Matsen FA. Ligament length relationships in the moving knee. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 1988;6(4):593-610.
8. Buoncristiani AM, Tjoumakaris FP, Starman JS, Ferretti M, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2006;22(9):1000-6.
9. Anderson AF, Dome DC, Gautam S, Awh MH, Rennirt GW. Correlation of anthropometric measurements, strength, anterior cruciate ligament size, and intercondylar notch characteristics to sex differences in anterior cruciate ligament tear rates. *Am J Sports Med.* 2001;29(1):58-66.
10. Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(2):257-62.
11. Hassebrock JD, Gulbrandsen MT, Asprey WL, Makovicka JL, Chhabra A. Knee Ligament Anatomy and Biomechanics. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2020;28(3):80-6.
12. Georgoulis AD, Pappa L, Moebius U, Malamou-Mitsi V, Pappa S, Papageorgiou CO, et al. The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2001;9(6):364-8.
13. Hewett TE, Zazulak BT, Myer GD, Ford KR. A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med.* 2005;39(6):347-50.

14. Besier TF, Lloyd DG, Cochrane JL, Ackland TR. External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(7):1168-75.
15. Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries: associated intercondylar notch stenosis. *Am J Sports Med.* 1988;16(5):449-54.
16. Uhorchak JM, Scoville CR, Williams GN, Arciero RA, St Pierre P, Taylor DC. Risk factors associated with noncontact injury of the anterior cruciate ligament: a prospective four-year evaluation of 859 West Point cadets. *Am J Sports Med.* 2003;31(6):831-42.
17. Shelbourne KD, Davis TJ, Klootwyk TE. The relationship between intercondylar notch width of the femur and the incidence of anterior cruciate ligament tears. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1998;26(3):402-8.
18. Davis TJ, Shelbourne KD, Klootwyk TE. Correlation of the intercondylar notch width of the femur to the width of the anterior and posterior cruciate ligaments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 1999;7(4):209-14.
19. Gabriel MT, Wong EK, Woo SLY, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 2004;22(1):85-9.
20. Yasuda K, van Eck CF, Hoshino Y, Fu FH, Tashman S. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction, part 1: Basic science. *Am J Sports Med.* 2011;39(8):1789-99.
21. Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc.* 1997;15(2):285-93.
22. Prodromos CC, Fu FH, Howell SM, Johnson DH, Lawhorn K. Controversies in soft-tissue anterior cruciate ligament reconstruction: grafts, bundles, tunnels, fixation, and harvest. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(7):376-84.
23. Yu B, Garrett WE. Mechanisms of non-contact ACL injuries. *Br J Sports Med.* agosto de 2007;41(1):i47-51.
24. Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2007;23(12):1320-5.
25. Moses B, Orchard J, Orchard J. Systematic review: Annual incidence of ACL injury and surgery in various populations. *Res Sports Med Print.* 2012;20(3-4):157-79.
26. Yoo JH, Lim BO, Ha M, Lee SW, Oh SJ, Lee YS, et al. A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* junio de 2010;18(6):824-30.
27. Lephart SM, Ferris CM, Fu FH. Risk factors associated with noncontact anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *Instr Course Lect.* 2002;51:307-10.

28. Toth AP, Cordasco FA. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. *J Gend-Specif Med JGSM Off J Partnersh Womens Health Columbia*. 2001;4(4):25-34.
29. Huston LJ, Greenfield ML, Wojtys EM. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. Potential risk factors. *Clin Orthop*. marzo de 2000;(372):50-63.
30. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *Am J Sports Med*. enero de 2013;41(1):203-15.
31. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *Am J Sports Med*. 2011;39(3):538-43.
32. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med*. 2007;35(3):359-67.
33. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am J Sports Med*. 2009;37(2):252-9.
34. Beynon BD, Fleming BC. Anterior cruciate ligament strain in-vivo: a review of previous work. *J Biomech*. 1998;31(6):519-25.
35. Benjaminse A, Gokeler A, van der Schans CP. Clinical diagnosis of an anterior cruciate ligament rupture: a meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36(5):267-88.
36. Solomon DH, Simel DL, Bates DW, Katz JN, Schaffer JL. The rational clinical examination. Does this patient have a torn meniscus or ligament of the knee? Value of the physical examination. *JAMA*. 2001;286(13):1610-20.
37. Galway HR, MacIntosh DL. The lateral pivot shift: a symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop*. 1980;(147):45-50.
38. Ostrowski JA. Accuracy of 3 Diagnostic Tests for Anterior Cruciate Ligament Tears. *J Athl Train*. 2006;41(1):120-1.
39. Swain MS, Henschke N, Kamper SJ, Downie AS, Koes BW, Maher CG. Accuracy of clinical tests in the diagnosis of anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Chiropr Man Ther*. 2014;22:25.
40. Sherman MF, Warren RF, Marshall JL, Savatsky GJ. A clinical and radiographical analysis of 127 anterior cruciate insufficient knees. *Clin Orthop*. 1988;227:229-37.
41. Spindler KP, Wright RW. Clinical practice. Anterior cruciate ligament tear. *N Engl J Med*. 2008;359(20):2135-42.
42. Ng WHA, Griffith JF, Hung EHY, Paunipagar B, Law BKY, Yung PSH. Imaging of the anterior cruciate ligament. *World J Orthop*. 2011;2(8):75-84.
43. Frobell RB, Lohmander LS, Roos HP. Acute rotational trauma to the knee: poor agreement between clinical assessment and magnetic resonance imaging findings. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(2):109-14.

44. Takahashi M, Doi M, Abe M, Suzuki D, Nagano A. Anatomical study of the femoral and tibial insertions of the anteromedial and posterolateral bundles of human anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 2006;34(5):787-92.
45. van Eck CF, Lesniak BP, Schreiber VM, Fu FH. Anatomic single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction flowchart. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2010;26(2):258-68.
46. Pombo MW, Shen W, Fu FH. Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: where are we today? *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2008;24(10):1168-77.
47. Nishimoto K, Kuroda R, Mizuno K, Hoshino Y, Nagamune K, Kubo S, et al. Analysis of the graft bending angle at the femoral tunnel aperture in anatomic double bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of the transtibial and the far anteromedial portal technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2009;17(3):270-6.
48. Shino K, Kimura T, Hirose H, Inoue M, Ono K. Reconstruction of the anterior cruciate ligament by allogeneic tendon graft. An operation for chronic ligamentous insufficiency. *J Bone Joint Surg Br.* 1986;68(5):739-46.
49. Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2005;21(7):791-803.
50. Mariscalco MW, Flanigan DC, Mitchell J, Pedroza AD, Jones MH, Andrish JT, et al. The influence of hamstring autograft size on patient-reported outcomes and risk of revision after anterior cruciate ligament reconstruction: a Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) Cohort Study. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg Off Publ Arthrosc Assoc N Am Int Arthrosc Assoc.* 2013;29(12):1948-53.
51. Claes S, Vereecke E, Maes M, Victor J, Verdonk P, Bellemans J. Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *J Anat.* 2013;223(4):321-8.
52. Dejour D, Saffarini M, Demey G, Baverel L. Tibial slope correction combined with second revision ACL produces good knee stability and prevents graft rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2015;23(10):2846-52.
53. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019;33(1):33-47.
54. Thomeé P, Währborg P, Börjesson M, Thomeé R, Eriksson BI, Karlsson J. Self-efficacy of knee function as a pre-operative predictor of outcome 1 year after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2008;16(2):118-27.
55. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med.* 2011;45(7):596-606.

56. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(13):804-8.
57. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med.* 2016;50(15):946-51.
58. Øiestad BE, Juhl CB, Eitzen I, Thorlund JB. Knee extensor muscle weakness is a risk factor for development of knee osteoarthritis. A systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2015;23(2):171-7.
59. Filbay SR, Crossley KM, Ackerman IN. Activity preferences, lifestyle modifications and re-injury fears influence longer-term quality of life in people with knee symptoms following anterior cruciate ligament reconstruction: a qualitative study. *J Physiother.* 2016;62(2):103-10.
60. Melick N van, Cingel REH van, Brooijmans F, Neeter C, Tienen T van, Hullegie W, et al. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med.* 2016;50(24):1506-15.
61. Eitzen I, Moksnes H, Snyder-Mackler L, Risberg MA. A progressive 5-week exercise therapy program leads to significant improvement in knee function early after anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(11):705-21.
62. Sugimoto D, Myer GD, Barber Foss KD, Hewett TE. Dosage Effects of Neuromuscular Training Intervention to Reduce Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Meta-and Sub-group Analyses. *Sports Med Auckl NZ.* 2014;44(4):551-62.
63. Palmieri-Smith RM, Villwock M, Downie B, Hecht G, Zernicke R. Pain and effusion and quadriceps activation and strength. *J Athl Train.* 2013;48(2):186-91.
64. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. *Clin Sports Med.* 2008;27(3):405-24, vii-ix.
65. Williams GN, Snyder-Mackler L, Barrance PJ, Buchanan TS. Quadriceps femoris muscle morphology and function after ACL injury: a differential response in copers versus non-copers. *J Biomech.* 2005;38(4):685-93.
66. Yasuda K, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K. Muscle weakness after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar and quadriceps tendons. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst.* 1991;51(2):175-85.
67. Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med.* 2010;31(1):1-4.
68. Slys J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016;19(8):669-75.
69. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res.* 2013;27(10):2914-26.

70. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(3):406-12.
71. McHugh MP, Tyler TF, Nicholas SJ, Browne MG, Gleim GW. Electromyographic analysis of quadriceps fatigue after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(1):25-32.
72. Noehren B, Andersen A, Hardy P, Johnson DL, Ireland ML, Thompson KL, et al. Cellular and Morphological Alterations in the Vastus Lateralis Muscle as the Result of ACL Injury and Reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98(18):1541-7.
73. Peck B, Brightwell C, Johnson D, Ireland M, Noehren B, Fry C. Anterior Cruciate Ligament Tear Promotes Skeletal Muscle Myostatin Expression, Fibrogenic Cell Expansion, and a Decline in Muscle Quality. *Am J Sports Med.* 2019;47(6):1385-95.
74. Escala PEDro - PEDro [Internet]. 2016 [citado 13 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://pedro.org.au/spanish/resources/pedro-scale/>
75. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand.* 2003;74(1):62-8.
76. Materiales – Redcaspe [Internet]. [citado 13 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://redcaspe.org/materiales/>
77. Moussa S. A bibliometric investigation of the journals that were repeatedly suppressed from Clarivate’s Journal Citation Reports. *Account Res.* 2022;1-21.
78. Roldan-Valadez E, Salazar-Ruiz SY, Ibarra-Contreras R, Rios C. Current concepts on bibliometrics: a brief review about impact factor, Eigenfactor score, CiteScore, SCImago Journal Rank, Source-Normalised Impact per Paper, H-index, and alternative metrics. *Ir J Med Sci.* 2019;188(3):939-51.
79. Iversen E, Røstad V, Larmo A. Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci.* 2016;5(1):115-8.
80. Žargi T, Drobnič M, Stražar K, Kacin A. Short-Term Preconditioning With Blood Flow Restricted Exercise Preserves Quadriceps Muscle Endurance in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Front Physiol.* 2018;9:1150.
81. 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 Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* 2018;33:54-61.
82. Korakakis V, Whiteley R, Giakas G. Low load resistance training with blood flow restriction decreases anterior knee pain more than resistance training alone. A pilot randomised controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2018;34:121-8.



83. Kilgas MA, Lytle LLM, Drum SN, Elmer SJ. Exercise with Blood Flow Restriction to Improve Quadriceps Function Long After ACL Reconstruction. *Int J Sports Med.* 2019;40(10):650-6.
84. 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 Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* 2019;39:90-8.
85. 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 Auckl NZ.* 2019;49(11):1787-805.
86. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2020;48(4):825-37.
87. Vieira de Melo RF, Cohen M, Komatsu WR, de Freitas MS, Vieira de Melo ME. Comparison of Quadriceps and Hamstring Muscle Strength After Exercises with and without Blood Flow Restriction Following Anterior Cruciate Ligament Surgery: A Randomized Controlled Trial. *J Rehabil Med.* 2022;jrm00337.
88. Baron JE, Parker EA, Duchman KR, Westermann RW. Perioperative and Postoperative Factors Influence Quadriceps Atrophy and Strength After ACL Reconstruction: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* junio de 2020;8(6):2325967120930296.
89. Hughes JD, Lawton CD, Nawabi DH, Pearle AD, Musahl V. Anterior Cruciate Ligament Repair: The Current Status. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(21):1900-15.
90. White K, Di Stasi SL, Smith AH, Snyder-Mackler L. Anterior cruciate ligament-specialized post-operative return-to-sports (ACL-SPORTS) training: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 23 de marzo de 2013;14:108.
91. Akima H, Furukawa T. Atrophy of thigh muscles after meniscal lesions and arthroscopic partial meniscectomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* noviembre de 2005;13(8):632-7.
92. Abe T, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Bembem MG. Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscles: a brief review. *Clin Physiol Funct Imaging.* julio de 2012;32(4):247-52.
93. Lixandrão ME, Ugrinowitsch C, Laurentino G, Libardi CA, Aihara AY, Cardoso FN, et al. Effects of exercise intensity and occlusion pressure after 12 weeks of resistance training with blood-flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* diciembre de 2015;115(12):2471-80.
94. Rossow LM, Fahs CA, Loenneke JP, Thiebaud RS, Sherk VD, Abe T, et al. Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance exercise with differing restrictive cuffs. *Clin Physiol Funct Imaging.* septiembre de 2012;32(5):331-7.

95. Scott JM, Martin DS, Ploutz-Snyder R, Matz T, Caine T, Downs M, et al. Panoramic ultrasound: a novel and valid tool for monitoring change in muscle mass. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. junio de 2017;8(3):475-81.
96. Grapar Zargi T, Drobnic M, Jkoder J, Strazar K, Kacin A. The effects of preconditioning with ischemic exercise on quadriceps femoris muscle atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction: a quasi-randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(3):310-20.
97. Gidlöf A, Lewis DH, Hammersen F. Fine structure of the human skeletal muscle capillary. A morphometric analysis. *Int J Microcirc Clin Exp*. enero de 1988;7(1):43-66.
98. Appell HJ, Glöser S, Duarte JA, Zellner A, Soares JM. Skeletal muscle damage during tourniquet-induced ischaemia. The initial step towards atrophy after orthopaedic surgery? *Eur J Appl Physiol*. 1993;67(4):342-7.
99. Takarada Y, Nozaki D, Taira M. Force overestimation during tourniquet-induced transient occlusion of the brachial artery and possible underlying neural mechanisms. *Neurosci Res*. enero de 2006;54(1):38-42.
100. Hollander DB, Reeves GV, Clavier JD, Francois MR, Thomas C, Kraemer RR. Partial occlusion during resistance exercise alters effort sense and pain. *J Strength Cond Res*. enero de 2010;24(1):235-43.
101. Wernbom M, Järrebring R, Andreasson MA, Augustsson J. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res*. noviembre de 2009;23(8):2389-95.
102. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. abril de 2009;106(4):1119-24.
103. Chmielewski TL, Jones D, Day T, Tillman SM, Lentz TA, George SZ. The association of pain and fear of movement/reinjury with function during anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther*. diciembre de 2008;38(12):746-53.
104. Dunn WR, Spindler KP, Amendola A, Andrish JT, Kaeding CC, Marx RG, et al. Which preoperative factors, including bone bruise, are associated with knee pain/symptoms at index anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR)? A Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) ACLR Cohort Study. *Am J Sports Med*. septiembre de 2010;38(9):1778-87.
105. Martín-Hernández J, Ruiz-Aguado J, Herrero AJ, Loenneke JP, Aagaard P, Cristi-Montero C, et al. Adaptation of Perceptual Responses to Low-Load Blood Flow Restriction Training. *J Strength Cond Res*. marzo de 2017;31(3):765-72.
106. Clarkson MJ, Conway L, Warmington SA. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *J Sci Med Sport*. diciembre de 2017;20(12):1041-6.

107. Fitschen PJ, Kistler BM, Jeong JH, Chung HR, Wu PT, Walsh MJ, et al. Perceptual effects and efficacy of intermittent or continuous blood flow restriction resistance training. *Clin Physiol Funct Imaging*. septiembre de 2014;34(5):356-63.
108. Brandner C, May A, Clarkson M, Warmington S. Reported Side-effects and Safety Considerations for the Use of Blood Flow Restriction During Exercise in Practice and Research. *Tech Orthop*. 1 de abril de 2018;33:1.
109. Loenneke JP, Kim D, Mouser JG, Allen KM, Thiebaud RS, Abe T, et al. Are there perceptual differences to varying levels of blood flow restriction? *Physiol Behav*. 1 de abril de 2016;157:277-80.
110. Korakakis V, Whiteley R, Epameinontidis K. Blood Flow Restriction induces hypoalgesia in recreationally active adult male anterior knee pain patients allowing therapeutic exercise loading. *Phys Ther Sport*. 1 de julio de 2018;32:235-43.
111. Jessee MB, Dankel SJ, Buckner SL, Mouser JG, Mattocks KT, Loenneke JP. The Cardiovascular and Perceptual Response to Very Low Load Blood Flow Restricted Exercise. *Int J Sports Med*. julio de 2017;38(8):597-603.
112. Mattocks KT, Jessee MB, Counts BR, Buckner SL, Grant Mouser J, Dankel SJ, et al. The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses. *Physiol Behav*. 2017;171:181-6.
113. Soligon SD, Lixandrão ME, Biazon T, Angleri V, Roschel H, Libardi CA. Lower occlusion pressure during resistance exercise with blood-flow restriction promotes lower pain and perception of exercise compared to higher occlusion pressure when the total training volume is equalized. *Physiol Int*. 2018;105(3):276-84.
114. Lins-Filho O de L, Robertson RJ, Farah BQ, Rodrigues SLC, Cyrino ES, Ritti-Dias RM. Effects of exercise intensity on rating of perceived exertion during a multiple-set resistance exercise session. *J Strength Cond Res*. febrero de 2012;26(2):466-72.
115. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985*. junio de 2002;92(6):2309-18.
116. Brandner C, Warmington S, Kidgell D. Corticomotor Excitability is Increased Following an Acute Bout of Blood Flow Restriction Resistance Exercise. *Front Hum Neurosci*. 16 de noviembre de 2015;9.
117. Changes in pain, swelling, and range of motion according to physical therapy intervention after total knee arthroplasty in elderly patients [Internet]. [citado 10 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.jptrs.org/journal/view.html?doi=10.14474/ptrs.2015.4.2.79>
118. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*. octubre de 2010;24(10):2857-72.
119. Schoenfeld BJ. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med Auckl NZ*. 2013;43(3):179-94.

120. Biazon TMPC, Ugrinowitsch C, Soligon SD, Oliveira RM, Bergamasco JG, Borghi-Silva A, et al. The Association Between Muscle Deoxygenation and Muscle Hypertrophy to Blood Flow Restricted Training Performed at High and Low Loads. *Front Physiol.* 2019;10:446.
121. Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 1-year follow-up study of a randomized clinical trial - PubMed [Internet]. [citado 10 de abril de 2023]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18988664/>
122. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *The Knee.* junio de 2015;22(3):270-7.
123. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* agosto de 2009;43(8):556-68.
124. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708.
125. Paternostro-Sluga T, Grim-Stieger M, Posch M, Schuhfried O, Vacariu G, Mittermaier C, et al. Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy. *J Rehabil Med.* 2008;40(8):665-71.
126. Heath EM. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(9):1461.
127. Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop.* 1985;(198):43-9.
128. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, et al. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med.* 2001;29(5):600-13.
129. Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynnon BD. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;28(2):88-96.
130. Blood Flow Restriction Therapy [Internet]. Sol Physical Therapy. [citado 19 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://sol-pt.com/blood-flow-restriction-therapy/>
131. Laurentino GC, Loenneke JP, Mouser JG, Buckner SL, Counts BR, Dankel SJ, et al. Validity of the Handheld Doppler to Determine Lower-Limb Blood Flow Restriction Pressure for Exercise Protocols. *J Strength Cond Res.* 2020;34(9):2693-6.
132. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol.* 2019;10:533.

## 10. ANEXOS

## Anexo 1. 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:

---

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (*Verhagen AP et al (1998). The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible “ponderar” los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa (“generalizabilidad” o “aplicabilidad” del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la “validez” de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la “calidad” de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

**Notas sobre la administración de la escala PEDro:**

- Todos los criterios **Los puntos solo se otorgan cuando el criterio se cumple claramente.** Si después de una lectura exhaustiva del estudio no se cumple algún criterio, no se debería otorgar la puntuación para ese criterio.
- Criterio 1 Este criterio se cumple si el artículo describe la fuente de obtención de los sujetos y un listado de los criterios que tienen que cumplir para que puedan ser incluidos en el estudio.
- Criterio 2 Se considera que un estudio ha usado una designación al azar si el artículo aporta que la asignación fue aleatoria. El método preciso de aleatorización no precisa ser especificado. Procedimientos tales como lanzar monedas y tirar los dados deberían ser considerados aleatorios. Procedimientos de asignación cuasi-aleatorios, tales como la asignación por el número de registro del hospital o la fecha de nacimiento, o la alternancia, no cumplen este criterio.
- Criterio 3 *La asignación oculta* (enmascaramiento) significa que la persona que determina si un sujeto es susceptible de ser incluido en un estudio, desconocía a que grupo iba a ser asignado cuando se tomó esta decisión. Se puntúa este criterio incluso si no se aporta que la asignación fue oculta, cuando el artículo aporta que la asignación fue por sobres opacos sellados o que la distribución fue realizada por el encargado de organizar la distribución, quien estaba fuera o aislado del resto del equipo de investigadores.
- Criterio 4 Como mínimo, en estudios de intervenciones terapéuticas, el artículo debe describir al menos una medida de la severidad de la condición tratada y al menos una medida (diferente) del resultado clave al inicio. El evaluador debe asegurarse de que los resultados de los grupos no difieran en la línea base, en una cantidad clínicamente significativa. El criterio se cumple incluso si solo se presentan los datos iniciales de los sujetos que finalizaron el estudio.
- Criterio 4, 7-11 *Los Resultados clave* son aquellos que proporcionan la medida primaria de la eficacia (o ausencia de eficacia) de la terapia. En la mayoría de los estudios, se usa más de una variable como una medida de resultado.
- Criterio 5-7 *Cegado* significa que la persona en cuestión (sujeto, terapeuta o evaluador) no conocía a que grupo había sido asignado el sujeto. Además, los sujetos o terapeutas solo se consideran “cegados” si se puede considerar que no han distinguido entre los tratamientos aplicados a diferentes grupos. En los estudios en los que los resultados clave sean auto administrados (ej. escala visual analógica, diario del dolor), el evaluador es considerado cegado si el sujeto fue cegado.
- Criterio 8 Este criterio solo se cumple si el artículo aporta explícitamente *tanto* el número de sujetos inicialmente asignados a los grupos *como* el número de sujetos de los que se obtuvieron las medidas de resultado clave. En los estudios en los que los resultados se han medido en diferentes momentos en el tiempo, un resultado clave debe haber sido medido en más del 85% de los sujetos en alguno de estos momentos.
- Criterio 9 El análisis por *intención de tratar* significa que, donde los sujetos no recibieron tratamiento (o la condición de control) según fueron asignados, y donde las medidas de los resultados estuvieron disponibles, el análisis se realizó como si los sujetos recibieran el tratamiento (o la condición de control) al que fueron asignados. Este criterio se cumple, incluso si no hay mención de análisis por intención de tratar, si el informe establece explícitamente que todos los sujetos recibieron el tratamiento o la condición de control según fueron asignados.
- Criterio 10 Una comparación estadística *entre grupos* implica la comparación estadística de un grupo con otro. Dependiendo del diseño del estudio, puede implicar la comparación de dos o más tratamientos, o la comparación de un tratamiento con una condición de control. El análisis puede ser una comparación simple de los resultados medidos después del tratamiento administrado, o una comparación del cambio experimentado por un grupo con el cambio del otro grupo (cuando se ha utilizado un análisis factorial de la varianza para analizar los datos, estos últimos son a menudo aportados como una interacción grupo x tiempo). La comparación puede realizarse mediante un contraste de hipótesis (que proporciona un valor "p", que describe la probabilidad con la que los grupos difieran sólo por el azar) o como una estimación de un tamaño del efecto (por ejemplo, la diferencia en la media o mediana, o una diferencia en las proporciones, o en el número necesario para tratar, o un riesgo relativo o hazard ratio) y su intervalo de confianza.
- Criterio 11 Una *estimación puntual* es una medida del tamaño del efecto del tratamiento. El efecto del tratamiento debe ser descrito como la diferencia en los resultados de los grupos, o como el resultado en (cada uno) de todos los grupos. Las *medidas de la variabilidad* incluyen desviaciones estándar, errores estándar, intervalos de confianza, rango intercuartílicos (u otros rangos de cuantiles), y rangos. Las estimaciones puntuales y/o las medidas de variabilidad deben ser proporcionadas gráficamente (por ejemplo, se pueden presentar desviaciones estándar como barras de error en una figura) siempre que sea necesario para aclarar lo que se está mostrando (por ejemplo, mientras quede claro si las barras de error representan las desviaciones estándar o el error estándar). Cuando los resultados son categóricos, este criterio se cumple si se presenta el número de sujetos en cada categoría para cada grupo.





## PROGRAMA DE LECTURA CRÍTICA CASPe Leyendo críticamente la evidencia clínica

### 11 preguntas para entender un ensayo clínico

#### ***Comentarios generales***

- Para valorar un ensayo hay que considerar tres grandes epígrafes:

*¿Son válidos los resultados del ensayo?*

*¿Cuáles son los resultados?*

*¿Pueden ayudarnos estos resultados?*

Las 11 preguntas de las siguientes páginas están diseñadas para ayudarte a centrarte en esos aspectos de modo sistemático.

- Las primeras tres preguntas son de eliminación y pueden ser respondidas rápidamente. Si la respuesta a las tres es "sí", entonces vale la pena continuar con las preguntas restantes.
- Puede haber cierto grado de solapamiento entre algunas de las preguntas.
- En itálica y debajo de las preguntas encontrarás una serie de pistas para contestar a las mismas. Están pensadas para recordarte por qué la pregunta es importante. ¡En los pequeños grupos no suele haber tiempo para responder a todo con detalle!

El marco conceptual necesario para la interpretación y el uso de estos instrumentos puede encontrarse en la referencia de abajo o/y puede aprenderse en los talleres de CASPe:

Juan B Cabello por CASPe. Lectura crítica de la evidencia clínica. Barcelona: Elsevier; 2015. (ISBN 978-84-9022-447-2)

Esta plantilla debería citarse como:

Cabello, J.B. por CASPe. Plantilla para ayudarte a entender un Ensayo Clínico. En: CASPe. Guías CASPe de Lectura Crítica de la Literatura Médica. Alicante: CASPe; 2005. Cuaderno I. p.5-8.



## A/¿Son válidos los resultados del ensayo?

### Preguntas "de eliminación"

<p><b>1 ¿Se orienta el ensayo a una pregunta claramente definida?</b></p> <p><i>Una pregunta debe definirse en términos de:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La población de estudio.</li> <li>- La intervención realizada.</li> <li>- Los resultados considerados.</li> </ul>	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO SÉ	<input type="checkbox"/> NO
<p><b>2 ¿Fue aleatoria la asignación de los pacientes a los tratamientos?</b></p> <p><i>- ¿Se mantuvo oculta la secuencia de aleatorización?</i></p>	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO SÉ	<input type="checkbox"/> NO
<p><b>3 ¿Fueron adecuadamente considerados hasta el final del estudio todos los pacientes que entraron en él?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿El seguimiento fue completo?</li> <li>- ¿Se interrumpió precozmente el estudio?</li> <li>- ¿Se analizaron los pacientes en el grupo al que fueron aleatoriamente asignados?</li> </ul>	<input type="checkbox"/> SÍ	<input type="checkbox"/> NO SÉ	<input type="checkbox"/> NO

### Preguntas de detalle

<b>4 ¿Se mantuvo el cegamiento a:</b> <i>- Los pacientes.</i> <i>- Los clínicos.</i> <i>- El personal del estudio.</i>	<input type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO SÉ <input type="checkbox"/> NO
<b>5 ¿Fueron similares los grupos al comienzo del ensayo?</b> <i>En términos de otros factores que pudieran tener efecto sobre el resultado: edad, sexo, etc.</i>	<input type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO SÉ <input type="checkbox"/> NO
<b>6 ¿Al margen de la intervención en estudio los grupos fueron tratados de igual modo?</b>	<input type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO SÉ <input type="checkbox"/> NO

### **B/ ¿Cuáles son los resultados?**

<b>7 ¿Es muy grande el efecto del tratamiento?</b> <i>¿Qué desenlaces se midieron?</i> <i>¿Los desenlaces medidos son los del protocolo?</i>	
<b>8 ¿Cuál es la precisión de este efecto?</b> <i>¿Cuáles son sus intervalos de confianza?</i>	

### C/¿Pueden ayudarnos estos resultados?

<p><b>9 ¿Puede aplicarse estos resultados en tu medio o población local?</b></p> <p><i>¿Crees que los pacientes incluidos en el ensayo son suficientemente parecidos a tus pacientes?</i></p>	<p><input type="checkbox"/> SÍ                      <input type="checkbox"/> NO SÉ                      <input type="checkbox"/> NO</p>
<p><b>10 ¿Se tuvieron en cuenta todos los resultados de importancia clínica?</b></p> <p><i>En caso negativo, ¿en qué afecta eso a la decisión a tomar?</i></p>	<p><input type="checkbox"/> SÍ                      <input type="checkbox"/> NO SÉ                      <input type="checkbox"/> NO</p>
<p><b>11 ¿Los beneficios a obtener justifican los riesgos y los costes?</b></p> <p><i>Es improbable que pueda deducirse del ensayo pero, ¿qué piensas tú al respecto?</i></p>	<p><input type="checkbox"/> SÍ    <input type="checkbox"/> NO</p>

### Anexo 3. Cuestionario KOOS

Name: \_\_\_\_\_

**INSTRUCTIONS:** This survey asks for your view about your knee. This information will help us keep track of how you feel about your knee and how well you are able to perform your usual activities. Answer every question by ticking the appropriate box, only one box for each question. If you are unsure about how to answer a question, please give the best answer you can.

#### **SYMPTOMS**

These questions should be answered thinking of your knee symptoms during the **last week**.

S1. Do you have swelling in your knee?

Never	Rarely	Sometimes	Often	Always
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S2. Do you feel grinding, hear clicking or any other type of noise when your knee moves?

Never	Rarely	Sometimes	Often	Always
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S3. Does your knee catch or hang up when moving?

Never	Rarely	Sometimes	Often	Always
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S4. Can you straighten your knee fully?

Always	Often	Sometimes	Rarely	Never
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S5. Can you bend your knee fully?

Always	Often	Sometimes	Rarely	Never
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### **STIFFNESS**

The following questions concern the amount of joint stiffness you have experienced during the **last week** in your knee. Stiffness is a sensation of restriction or slowness in the ease with which you move your knee joint.

S6. How severe is your knee joint stiffness after first wakening in the morning?

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

S7. How severe is your knee stiffness after sitting, lying or resting **later in the day**?

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**PAIN**

P1. How often do you experience knee pain?

Never	Monthly	Weekly	Daily	Always
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

What amount of knee pain have you experienced the **last week** during the following activities?

P2. Twisting/pivoting on your knee

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P3. Straightening knee fully

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P4. Bending knee fully

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P5. Walking on flat surface

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P6. Going up or down stairs

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P7. At night while in bed

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P8. Sitting or lying

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

P9. Standing upright

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**FUNCTION, DAILY LIVING**

The following questions concern your physical function. By this we mean your ability to move around and to look after yourself. For each of the following activities please indicate the degree of difficulty you have experienced in the **last week** due to your knee.

A1. Descending stairs

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A2. Ascending stairs

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

For each of the following activities please indicate the degree of difficulty you have experienced in the **last week** due to your knee.

A3. Rising from sitting

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A4. Standing

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A5. Bending to floor/pick up an object

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A6. Walking on flat surface

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A7. Getting in/out of car

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A8. Going shopping

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A9. Putting on socks/stockings

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A10. Rising from bed

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A11. Taking off socks/stockings

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A12. Lying in bed (turning over, maintaining knee position)

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A13. Getting in/out of bath

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A14. Sitting

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A15. Getting on/off toilet

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

For each of the following activities please indicate the degree of difficulty you have experienced in the **last week** due to your knee.

A16. Heavy domestic duties (moving heavy boxes, scrubbing floors, etc)

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A17. Light domestic duties (cooking, dusting, etc)

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**FUNCTION, SPORTS AND RECREATIONAL ACTIVITIES**

The following questions concern your physical function when being active on a higher level. The questions should be answered thinking of what degree of difficulty you have experienced during the **last week** due to your knee.

SP1. Squatting

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP2. Running

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP3. Jumping

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP4. Twisting/pivoting on your injured knee

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SP5. Kneeling

None	Mild	Moderate	Severe	Extreme
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**QUALITY OF LIFE**

Q1. How often are you aware of your knee problem?

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Never                    | Monthly                  | Weekly                   | Daily                    | Always                   |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Q2. Have you modified your life style to avoid potentially damaging activities to your knee?

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Not at all               | Mildly                   | Moderately               | Severly                  | Totally                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Q3. How much are you troubled with lack of confidence in your knee?

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Not at all               | Mildly                   | Moderately               | Severly                  | Extremely                |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Q4. In general, how much difficulty do you have with your knee?

- |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| None                     | Mild                     | Moderate                 | Severe                   | Extreme                  |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**THANK YOU VERY MUCH FOR COMPLETING ALL THE QUESTIONS IN THIS QUESTIONNAIRE.**



## Anexo 4. Cuestionario LKSS

TABLE 1. Lysholm Knee Scoring Scale

Limp (5 points)	
None	5
Slight or periodical	3
Severe and constant	0
Support (5 points)	
None	5
Stick or crutch	2
Weight-bearing impossible	0
Locking (15 points)	
No locking and no catching sensations	15
Catching sensation but no locking	10
Locking	
Occasionally	6
Frequently	2
Locked joint on examination	0
Instability (25 points)	
Never giving way	25
Rarely during athletics or other severe exertion	20
Frequently during athletics or other severe exertion (or incapable of participation)	15
Occasionally in daily activities	10
Often in daily activities	5
Every step	0
Pain (25 points)	
None	25
Inconstant and slight during severe exertion	20
Marked during severe exertion	15
Marked on or after walking more than 2 km	10
Marked on or after walking less than 2 km	5
Constant	0
Swelling (10 points)	
None	10
On severe exertion	6
On ordinary exertion	2
Constant	0
Stair-climbing (10 points)	
No problems	10
Slightly impaired	6
One step at a time	2
Impossible	0
Squatting (5 points)	
No problems	5
Slightly impaired	4
Not beyond 90°	2
Impossible	0

Anexo 5. Cuestionario IKDC

**2000 IKDC SUBJECTIVE KNEE EVALUATION FORM**

Your Full Name \_\_\_\_\_

Today's Date: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Day Month Year

Date of Injury: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Day Month Year

**SYMPTOMS\*:**

\*Grade symptoms at the highest activity level at which you think you could function without significant symptoms, even if you are not actually performing activities at this level.

1. What is the highest level of activity that you can perform without significant knee pain?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging
- Light activities like walking, housework or yard work
- Unable to perform any of the above activities due to knee pain

2. During the past 4 weeks, or since your injury, how often have you had pain?

Never    0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    10    Constant  
                                           

3. If you have pain, how severe is it?

No pain    0    1    2    3    4    5    6    7    8    9    10    Worst pain  
                                                imaginable

4. During the past 4 weeks, or since your injury, how stiff or swollen was your knee?

- Not at all
- Mildly
- Moderately
- Very
- Extremely

5. What is the highest level of activity you can perform without significant swelling in your knee?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging
- Light activities like walking, housework, or yard work
- Unable to perform any of the above activities due to knee swelling

6. During the past 4 weeks, or since your injury, did your knee lock or catch?

- Yes     No

7. What is the highest level of activity you can perform without significant giving way in your knee?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging
- Light activities like walking, housework or yard work
- Unable to perform any of the above activities due to giving way of the knee

**Page 2 – 2000 IKDC SUBJECTIVE KNEE EVALUATION FORM**

**SPORTS ACTIVITIES:**

8. What is the highest level of activity you can participate in on a regular basis?

- Very strenuous activities like jumping or pivoting as in basketball or soccer
- Strenuous activities like heavy physical work, skiing or tennis
- Moderate activities like moderate physical work, running or jogging
- Light activities like walking, housework or yard work
- Unable to perform any of the above activities due to knee

9. How does your knee affect your ability to:

		Not difficult at all	Minimally difficult	Moderately Difficult	Extremely difficult	Unable to do
a.	Go up stairs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b.	Go down stairs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c.	Kneel on the front of your knee	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d.	Squat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e.	Sit with your knee bent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f.	Rise from a chair	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g.	Run straight ahead	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h.	Jump and land on your involved leg	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i.	Stop and start quickly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**FUNCTION:**

10. How would you rate the function of your knee on a scale of 0 to 10 with 10 being normal, excellent function and 0 being the inability to perform any of your usual daily activities which may include sports?

FUNCTION PRIOR TO YOUR KNEE INJURY:

Cannot perform daily activities    0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   No limitation in daily activities

CURRENT FUNCTION OF YOUR KNEE:

Cannot perform daily activities    0   1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   No limitation in daily activities

Anexo 6. Escala de fuerza muscular modificada "Medical Research Council"

---

**ESCALA DE FUERZA MUSCULAR MODIFICADA MRC (*Medical Research Council*)**

---

<b>0</b>	AUSENTE	Parálisis total
<b>1</b>	MÍNIMA	Contracción muscular visible sin movimiento
<b>2</b>	ESCASA	Movimiento, eliminada la gravedad
<b>3</b>	REGULAR	Movimiento parcial sólo contra gravedad
<b>3+</b>	REGULAR +	Movimiento completo sólo contra gravedad
<b>4-</b>	BUENA -	Movimiento completo contra gravedad y resistencia mínima
<b>4</b>	BUENA	Movimiento completo contra gravedad y resistencia moderada
<b>4+</b>	BUENA +	Movimiento completo contra gravedad y resistencia fuerte
<b>5</b>	NORMAL	Movimiento completo contra resistencia total

## Anexo 7. Consentimiento informado. Modificado

**CONSENTIMIENTO INFORMADO**

**Propósito del estudio.** El Grupo de investigación en Gestión de Lesiones Musculoesqueléticas de la Universidad Pública de Navarra, se encuentra adelantando el trabajo denominado “Efectividad de la técnica BFR en la rehabilitación después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior: una revisión bibliográfica y propuesta de intervención”. El objetivo de este estudio es determinar el efecto del entrenamiento en las respuestas perceptivas y la función física trabajando a diferentes intensidades junto con la restricción del flujo sanguíneo en pacientes con secuelas persistentes tras la rehabilitación postoperatoria de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

**Qué pasará durante el estudio.** Si usted acepta formar parte de este estudio, después de verificarse el cumplimiento de los criterios de inclusión y la firma de este consentimiento informado, llevará a cabo las siguientes actividades:

- El participante deberá acudir el primer día a las instalaciones deportivas de la Universidad Pública de Navarra para la toma de datos basales. Se tomarán datos sobre el dolor de rodilla, la función general de rodilla y además se realizará unas pruebas de fuerza del miembro inferior mediante la medición del 1RM en tres ejercicios diferentes. Según la asignación de grupo también se llevará a cabo una medición de la presión de oclusión máxima del miembro lesionado.
- A partir del siguiente día el participante deberá acudir los lunes y jueves durante 12 semanas a las mismas instalaciones para la realización de un programa de ejercicio que constará de tres ejercicios. PPU, KF y KE.
- Durante las 12 semanas del estudio se seguirán recogiendo datos, entre ellos el dolor de rodilla tras 24 horas del entrenamiento, donde se contactará con el paciente por vía telefónica.

**¿Cuánto tiempo durará su participación en el estudio?** La participación tendrá una duración de 12 semanas.

**¿Cómo se podría beneficiar si participa en el estudio?** Por una parte, en caso de que sea detectada una anomalía en las pruebas del examen físico, se le derivará a control médico. Por otra parte, los resultados de este estudio contribuyen al cuidado y rehabilitación de aquellas personas que sufren dolor de rodilla y una mala función general de rodilla tiempo después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

**¿Qué daños podrían ocurrirle al participante si hace parte del estudio?** Para efectos de la seguridad del estudio, se contará con la presencia de profesionales de la salud suficientemente cualificados. Este tipo de intervención se encuentra clasificada dentro del riesgo mínimo, ya que únicamente se realizarán ejercicios con resistencia. Uno de los productos del entrenamiento podría ser el cansancio general durante la práctica de los ejercicios. No obstante, en el peor caso, la intervención podría causar la reagudización del dolor de rodilla, un empeoramiento de la función general de rodilla y el aumento del dolor muscular y el esfuerzo percibido durante la actividad.

**Confidencialidad.** La información obtenida será utilizada únicamente para propósitos del estudio. Su nombre no se utilizará en ningún reporte o publicación.

**Costo de su participación.** Ninguno. El estudio asume el costo de las pruebas y del programa de ejercicio.

**Sus derechos en el estudio.** Su participación en el estudio es completamente voluntaria. Si usted no quiere participar, no tendrá ninguna consecuencia. Además, una vez iniciado el estudio podrá retirarse en cualquier momento. También tiene derecho a conocer nueva información con respecto al estudio en el caso de que la hubiera. Su única responsabilidad en el estudio es brindar la mayor veracidad en las pruebas físicas y las encuestas que llevará a cabo. En caso de que tenga preguntas adicionales sobre el estudio puede contactar con el Investigador Miguel Erviti MOVIL: 636 18 19 49, correo electrónico miguele@gmail.com.

Con su firma usted aprueba que ha leído o alguien le ha leído este documento, que se le ha respondido satisfactoriamente a sus preguntas y aclarado las posibles dudas, y que acepta participar voluntariamente en el presente estudio.

Usted recibe además una copia del presente documento. \_\_\_\_\_

Lugar y Fecha

Nombre del participante	Firma (ID)	Lugar y Fecha
Nombre del investigador principal	Firma (ID)	Lugar y Fecha

## Anexo 8. Escala Borg del dolor

### General Instructions for Using the Borg CR10 Scale

You will use this scale to tell how strong your perception of a certain attribute is. As you can see, the scale stretches from "nothing at all" to "absolute maximum." "Extremely strong—max P" (10) is such an extremely strong perception of a certain attribute that it is the strongest one you have ever experienced: "max P." It may, however, be possible to experience or to imagine a magnitude that is even stronger than what you yourself have previously experienced. Therefore, "absolute maximum", the "highest possible" level, is placed somewhat farther down the scale without a fixed number and marked with a "•". If you should perceive an intensity to be stronger than 10, "extremely strong—max P," you may use numbers on the scale above 10, such as 11, 12, or even higher. "Extremely weak," corresponding to 0.5 on the scale, is something just noticeable, i.e., something that is on the boundary of what is possible to perceive.

You use the scale in the following way: Always start by *looking at the verbal expressions*. Then choose a *number*. If your perception corresponds to "very weak," you say 1. If it is "moderate," you say 3, and so on. You may use whatever numbers you want, also half values, such as 1.5 or 2.5, or decimals, e.g., 0.3, 0.8, 1.7, 2.3, 5.6, or 11.5. It is very important that you answer what *you* perceive and not what you believe you ought to answer. Be as *honest* as possible and try not to overestimate or underestimate the intensities. Remember to start by looking at the verbal expressions before every rating, then give a number.

0	Nothing at all	"No P"
0.3		
0.5	Extremely weak	Just noticeable
1	Very weak	
1.5		
2	Weak	Light
2.5		
3	Moderate	
4		
5	Strong	Heavy
6		
7	Very strong	
8		
9		
10	Extremely strong	"Max P"
11		
+		
•	Absolute maximum	Highest possible

Borg CR10 scale  
© Gunnar Borg, 1981, 1982, 1996

Any questions?

*Some examples of items to rate.* The test leader may want to use some simple items for training and testing the subject's rating behavior, and ask the following questions:

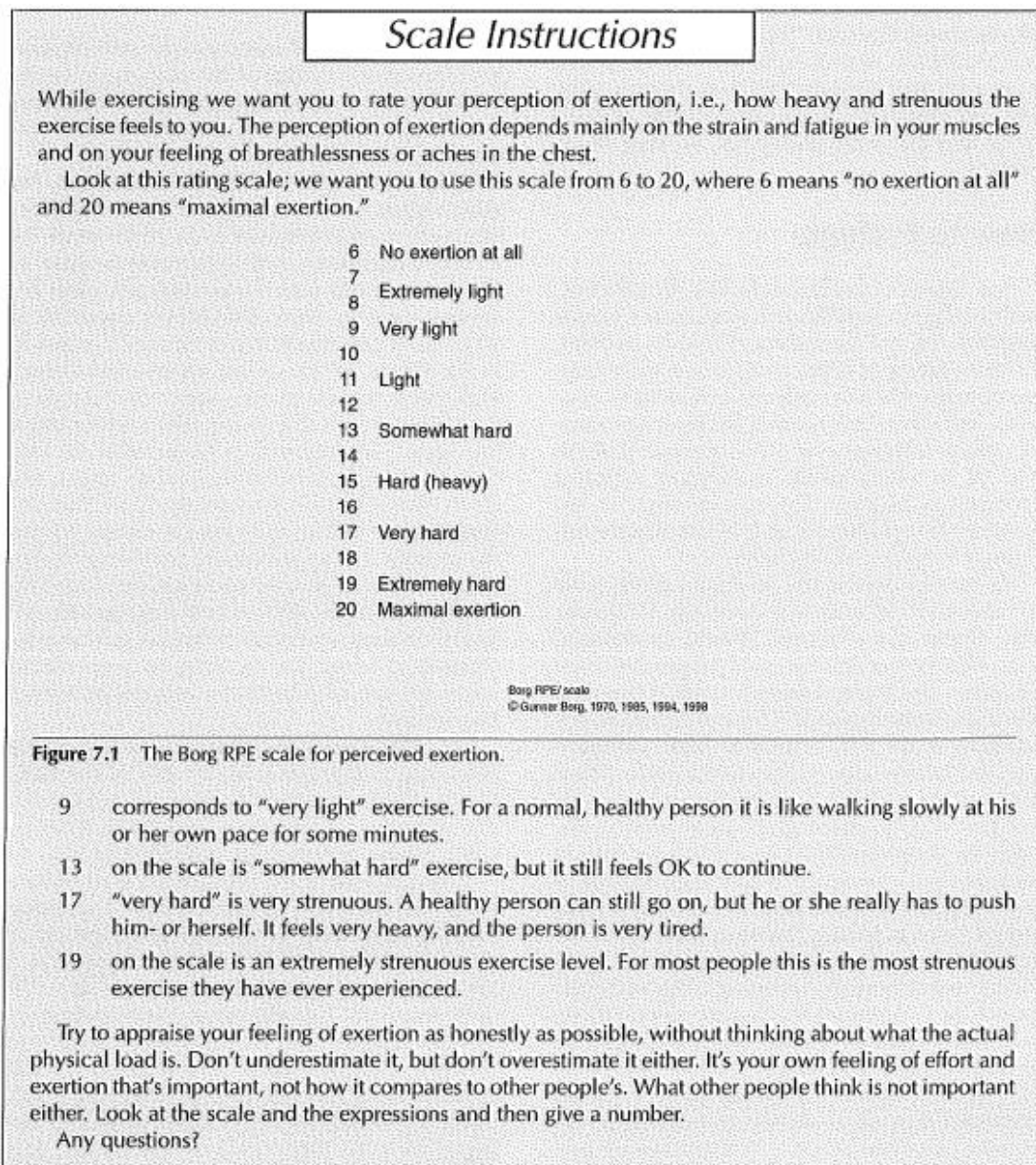
To see that you have understood the instruction and how to use the scale, please answer the following questions:

1. How black do you perceive a piece of pure black charcoal to be? (9) How white? (0.5)
2. How loud do you perceive an ordinary conversation between two people to be? (2.5)
3. How white do you perceive a piece of pure white sugar to be? (9) How black? (0.5)
4. How sour do you perceive a lemon to be? (7)
5. How sweet is a ripe banana? (3.5)

The answers to these questions are given in approximate numbers.

Any further questions?

## Anexo 9. Escala Borg del RPE





Anexo 10. Dispositivo BFR

