

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA



Aplicación de la restricción del flujo sanguíneo en la rehabilitación de LCA, revisión sistemática.

AUTOR: Cucarella Bellvís, Javier

Nº Expediente: 290

TUTOR: Roses Conde, Jorge

Curso académico 2021-2022

Convocatoria de junio

ÍNDICE

1- Resumen	Pág. 1
2- Abstract	Pág. 2
3- Introducción	Pág. 3
4- Objetivos	Pág. 5
• Objetivo principal	
• Objetivo secundario	
5- Material y método	Pág. 6
6- Resultados	Pág. 7
7- Discusión	Pág. 8
8- Conclusión	Pág. 11
9- Anexos	
• Anexo 1: Diagrama de flujo	Pág. 12
• Anexo 2: Escala PEDro	Pág.13
• Anexo 3: Tabla resumen 1	Pág. 14
• Anexo 4: Tabla resumen 2	Pág. 17
• Anexo 5: Tabla resumen 3	Pág. 19
• Anexo 6: Gráficas	
○ Figura 1: tipos de estudios	Pág. 21
○ Figura 2: Nivel de evidencia	Pág. 21
○ Figura 3: Tamaño de la muestra	Pág. 22
○ Figura 4: Nivel de oclusión	Pág. 22
○ Figura 5: Sesiones totales de la intervención	Pág. 23
○ Figura 6: Variables medidas	Pág. 23
○ Figura 7: Variables medidas 2	Pág. 24
○ Figura 8: Tipos de ejercicio.....	Pág. 24
10- Bibliografía	Pág. 25

1- RESUMEN

Introducción: Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) pueden poner fin a la carrera de los atletas y ser gravemente incapacitantes para todos los individuos. La evidencia acerca de los beneficios e importancia de la aplicación del ejercicio terapéutico para afrontar la rehabilitación en estas lesiones es abundante y uno de sus objetivos es la ganancia de fuerza muscular. En esta línea, parece que, el ejercicio de baja intensidad combinado con BFR está demostrando su efectividad.

Objetivos: Conocer el efecto del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo en la rehabilitación de LCA, así como conocer los parámetros y tipos de ejercicios efectivos y seguros en el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo.

Material y métodos: Se buscaron artículos publicados a partir de 2017 en las bases de datos Pubmed, PEDro, ScienceDirect y Scopus, que tratarán de determinar la efectividad del entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFRT) en pacientes con lesión del LCA, algunos pre-intervención, otros post-quirúrgicos.

Resultados: Se incluyeron 8 estudios. Cuatro artículos tienen un grupo control dentro de sus intervenciones, otros dos artículos comparan la técnica BFR con diferentes cargas de ejercicio, que comparan intervenciones de baja carga y alta carga, y otro estudio compara en diferentes tipos de contracción muscular, excéntrico y concéntrico.

Conclusiones: Un protocolo de ejercicios de cadena cinética cerrada, como el ejercicio de prensa de pierna de baja intensidad, con una oclusión del manguito del 80% del LOP individualizado puede favorecer significativamente en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales, aumentar el volumen y además de reducir el dolor de rodilla en la rehabilitación temprana del LCA.

Palabras clave: “BFRT”, “restricción del flujo sanguíneo”, “ligamento cruzado anterior” y “ACL”

2- ABSTARACT

Introduction: Injuries in anterior cruciate ligament (ACL) can be career-ending for athletes and severely incapacitating for everybody. There is plenty of evidence about the benefits and importance of the application of therapeutic exercise to confront the rehabilitation of these injuries and one of its objectives is the gain of muscle strength. In this line, low intensity exercise combined with BFRT seems to be effective.

Objectives: To determine the effect of training with partial blood flow restriction in ACL rehabilitation, as well as to determine the parameters and types of effective and safe exercises in training with partial blood flow restriction.

Material and methods: We searched for articles published from 2017 in Pubmed, PEDro, ScienceDirect and Scopus databases, which will try to determine the effectiveness of training with blood flow restriction (BFRT) in patients with ACL injury, some pre-intervention and the other ones post-surgery.

Results: Eight studies were included. Four articles have a control group within their interventions, two other articles compare the BFR technique with different exercise loads, comparing low load and high load interventions, and another study compares different types of muscle contraction, eccentric and concentric.

Conclusions: A closed kinetic chain exercise protocol, such as the low intensity leg press exercise, with an individualized 80% LOP cuff occlusion can significantly benefit quadriceps and hamstring strength, increase volume and reduce knee pain in early ACL rehabilitation, too.

Keywords: “BFRT”, “blood flow restriction”, “anterior cruciate ligament” y “ACL”

3- INTRODUCCIÓN

El Ligamento cruzado anterior ha sido una de las estructuras del sistema musculoesquelético frecuentemente más estudiadas durante las últimas décadas (1) debido a la importancia de sus lesiones, ya que estas pueden poner fin a la carrera de los atletas y ser gravemente incapacitantes para todos los individuos. (2) ya que aproximadamente el 70 % de estas lesiones ocurren en el deporte. (3)

La incidencia de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) sigue siendo alta, especialmente en atletas jóvenes de 14 a 19 años. (4) y además, las atletas femeninas tienen entre dos y ocho veces más probabilidades que los atletas masculinos de sufrir esta lesión (5); esto se debe a los diferentes factores de riesgo intrínsecos no modificables que incluyen el sexo, las variaciones anatómicas, (6) debido a la diferencia anatómica, en concreto al aumento del ángulo Q que provoca un valgo de rodilla (7) y la predisposición genética.

Se ha estudiado desde muchos puntos de vista, incluido el comportamiento biomecánico del ligamento intacto y los injertos de reemplazo, los mecanismos de falla, el tratamiento, las técnicas quirúrgicas y los protocolos de rehabilitación posoperatoria. (8)

Respecto a su anatomía el LCA no es solo una banda de tejido conectivo denso que conecta el fémur y la tibia. Durante muchos años se ha reconocido bien que el LCA consta de dos haces, el haz anteromedial y el posterolateral, llamados así por la orientación de sus inserciones tibiales. (8) El fascículo anteromedial (AM) se ubica proximal y anterior en el origen del LCA femoral, el fascículo posterolateral (PL) comienza en la cara distal y posterior del origen del LCA femoral.

Mientras que el fascículo anteromedial es la restricción principal contra la traslación tibial anterior, el fascículo posterolateral tiende a estabilizar la rodilla casi en extensión completa, particularmente contra las cargas rotatorias. (8)

Los estudios sugieren que la rehabilitación posterior a la reconstrucción de un paciente con lesión del LCA debe comenzar tan pronto como sea posible, con un retraso óptimo de 2 a 3 días dependiendo de la condición del paciente (9; 10).

En la última década se han publicado varios estudios que informan cambios hipertróficos en el músculo esquelético después de un entrenamiento de fuerza de baja carga con flujo sanguíneo restringido (11). Informes recientes han indicado que, si el entrenamiento muscular de la

extremidad se realiza durante una restricción moderada del flujo sanguíneo producida por un torniquete de aire usado en la porción proximal de la extremidad, incluso el entrenamiento muscular de resistencia de baja carga puede inducir el mismo aumento y agrandamiento de los músculos que el entrenamiento muscular de alta carga (12, 13)

El entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (BFRT) es una técnica de fortalecimiento muscular 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. (14, 15) La compresión de las estructuras vasculares permite el flujo de sangre arterial hacia la extremidad, pero restringe el retorno venoso. (16.)

Se cree que BFRT estimula el crecimiento muscular y las mejoras en la fuerza a través de varios mecanismos, siendo algunos de los principales la acumulación metabólica que fomenta el aumento de los factores de crecimiento anabólicos, un mayor reclutamiento de fibras de contracción rápida y un aumento de proteínas síntesis a través de la vía de rapamicina (mTOR) o disminución de la expresión de miostatina. (17, 18.)

En esta revisión bibliográfica sistemática a fecha de junio del 2022 vamos a proceder a estudiar la literatura científica sobre los beneficios de la aplicación de la técnica de restricción de flujo sanguíneo en los diferentes tipos de entrenamiento en la rehabilitación en la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

4- OBJETIVOS

Objetivo principal:

- Analizar a través de la literatura científica el efecto de la aplicación de la restricción del flujo sanguíneo en el ejercicio de rehabilitación tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Objetivo secundario:

- Comparar los diferentes niveles de oclusión en la restricción de flujo sanguíneo utilizados en los diferentes estudios publicados para la rehabilitación del LCA.
- Estudiar los diferentes protocolos de ejercicios combinados con la terapia BFRT, aplicados en la rehabilitación del LCA.
- Evaluar la calidad metodológica de los estudios relacionados con el entrenamiento oclusivo para la extremidad inferior.



5- MATERIAL Y MÉTODO

El estudio ha sido aprobado por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche con el COIR para TFG **TFG.GFL.JRC.JCB.220207**

Se realizó una búsqueda bibliográfica electrónica desde el 1 de febrero de 2022 hasta el 30 de abril de 2022, en las siguientes bases de datos: Pubmed, PEDro, ScienceDirect y Scopus

Para la búsqueda en la base de datos se utilizó la estrategia de búsqueda con las siguientes palabras claves: “BFRT”, “blood flow restriction”, “anterior cruciate ligament” y “ACL”. Se utilizó el operador booleano “OR” para unir las palabras claves con sus acrónimos en inglés, así como el operador booleano “AND” para combinar ambos términos.

Los criterios de inclusión según las posibilidades de las distintas bases de datos fueron el tipo de estudio: “Books and Documents”, “Clinical Trial”, “Randomized Controlled Trial”, y “Research articles”.

En lo referente a los criterios de exclusión encontramos los estudios fuera del rango 2017-2022 anteriormente citado, y los tipos de estudios: “short communications”, “conference abstracts”, “Review articles”, “systematic review” y “Meta-analysis”, dependiendo de la base de datos consultada.

Por otra parte, después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, nos quedan como resultado: PudMed (n=6), PEDro (n=3), ScienceDirect (n=4) y Scopus (n=15)

Pero no todos los artículos tienen contenido válido para nuestra búsqueda bibliográfica. Así pues, una vez aplicado un cribado de artículos en base a la técnica “*Blood flow restriction*” junto a la lesión de ligamento cruzado anterior, descartamos un artículo en Pubmed al hablar de cambios a nivel molecular, se descarta un artículo en ScienceDirect al hablar de la lesión de rodilla pero no sobre la técnica BFR, esto último sucede también en la base de datos Scopus, donde descartamos 4 artículos más. Para terminar nuestro cribado, se descarta un artículo duplicado en las bases de datos de PubMed y Scopus el cual es un protocolo para un ensayo clínico aleatorizado.

Después de este cribado de artículos nos queda la selección de artículos siguiente: PubMed (n=5), PEDro (n=3), ScienceDirect (n=3) y Scopus (n=8). Si a estos resultados eliminamos los artículos duplicados entre las bases de datos en cuestión, nos queda una selección final de **8 artículos**.

6- RESULTADOS

La información extraída de los estudios seleccionados para esta revisión aparece reflejada en la Tabla 1,2 y 3.

En cuanto al diseño de los estudios (*Figura 1*) incluidos, que suman un total de ocho: seis son ensayos clínicos aleatorizados prospectivos (Curran et al. 2020; L. Hughes et al. 2019 (I); L. Hughes et al. 2018; L. Hughes et al. 2019 (II); A. Kacin et al. 2021; Kilgas MA et al. 2019), uno es un estudio prospectivo (F.R Noyes et al. 2021) y otro artículo es un análisis de movimiento transversal (S. Telfer et al. 2021)

En lo referente a la asignación de los sujetos a los grupos ha sido oculta en todos, excepto en uno (F.R Noyes et al, 2021), los sujetos solo fueron cegados en un estudio (A. Kacin et al, 2021), los terapeutas no fueron cegados en ningún estudio, y solo en 3 artículos fueron cegados los evaluadores (L. Hughes et al, 2019(I); L. Hughes et al, 2019(II); L. Hughes et al, 2018).

En los diferentes estudios encontramos como cuatro artículos tienen un grupo control dentro de sus intervenciones (Curran et al. 2020; A. Kacin et al. 2021; Kilgas MA et al. 2019; S. Telfer et al. 2021), y otros artículos comparan la técnica BFR con diferentes cargas de ejercicio, como L. Hughes et al. 2019 (I) – (II) y L. Hughes et al. 2018, que comparan intervenciones de baja carga y alta carga, y Curran et al. 2020 que compara en diferentes tipos de contracción muscular, excéntrico y concéntrico.

Otros resultados extraídos de las tablas de resumen son las variables medidas (*figura 6, figura 7*) en los artículos 5 artículos miden la fuerza y el volumen (Curran et al. 2020; F.R Noyes et al. 2021; L. Hughes et al. 2019 (I); A. Kacin et al. 2021; Kilgas MA et al 2019), además el artículo de L. Hughes et al. 2019 (II), mide también la función física, el dolor, la laxitud de la articulación de la rodilla, el rango de movimiento y la efusión. Otras variables medidas son el índice de esfuerzo percibido (RPE) y el dolor, (L. Hughes et al. 2019 (II); L. Hughes et al. 2018), sumando la presión arterial como variable medida en el último artículo citado. Para terminar con las variables medidas, S. Telfer et al 2021, miden en su artículo la cinemática y la cinética de las extremidades inferiores.

7 - DISCUSIÓN:

Nuestro objetivo principal en nuestra revisión era analizar a través de la literatura científica el efecto de la aplicación de la restricción del flujo sanguíneo en el ejercicio de rehabilitación tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

En los diferentes artículos hay disparidad de resultados, todos dependientes de la intensidad de ejercicio, ya que los artículos que utilizaban intensidades elevadas o cargas elevadas no encontraban mejoras significativas, y los grupos de intervención sí que aportaban mejoras a los estudios.

Es posible que BFRT no sea efectivo cuando se administra junto con ejercicios de fuerza de alta intensidad, ya que los mecanismos que conducen a mejoras en la función muscular con BFRT no son aditivos. Se considera que la hipertrofia muscular inducida por el ejercicio de fuerza es el resultado de 2 mecanismos principales: el aumento de la tensión mecánica y/o segundo del estrés metabólico. (19,20)

Biazon et al. (21) sugirieron que la síntesis de proteínas musculares alcanza su punto máximo con el ejercicio de alta intensidad y que agregar estrés metabólico (la aplicación de BFRT) al músculo puede no conducir a mejoras adicionales.

Por lo tanto, sostenemos que agregar estrés metabólico al músculo de los pacientes sometidos a ACLR con BFRT no da como resultado mejoras en la función del músculo cuádriceps, ya que la síntesis de proteínas ya era alta debido a la gran cantidad de tensión mecánica en el músculo cuádriceps durante el ejercicio (22)

Es decir, los efectos de la aplicación de BFRT serán dependientes de la intensidad del ejercicio, así pues, en los artículos que utilizaban intensidades de trabajo bajas se dieron mejoras significativas en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales, más concretamente en los primeros, también se dio un aumento de volumen de la musculatura y una reducción del dolor.

Aunque, por el contrario, la sensación durante el ejercicio en algunos artículos era más incómodo en los grupos de BFRT que en los grupos control, debido a la presión del torniquete. Tampoco se vio afectado el índice de esfuerzo percibido (RPE)

La presión de oclusión de la extremidad (LOP), se define como la presión mínima requerida para la oclusión arterial completa. Si nos centramos en nuestros primer objetivo secundario de

la revisión, como es la comparación de los diferentes niveles de oclusión en la restricción de flujo sanguíneo utilizados en los diferentes estudios publicados para la rehabilitación del LCA encontramos que el nivel de oclusión (*figura 4*) utilizado en 5 estudios (Curran et al, 2020; L. Hughes et al. 2019 (I); L. Hughes et al. 2018; L. Hughes et al. 2019 (II); S. Telfer et al, 2021) utilizan un nivel de oclusión del 80% del LOP, que es la presión de oclusión de la extremidad por sus siglas en inglés “Limb Occlusion Pressure”, un estudio utiliza el 50% del LOP (Kilgas MA et al, 2019), otro estudio utiliza un intervalo entre 60%-80% del LOP (F.R Noyes et al, 2021) y por último, el estudio de A. Kacin et al, 2021, utiliza una presión de 150 mmHg y 20 mmHg dependiendo del grupo de intervención

Un rango de LOP del 60 % al 80 % permite la perfusión continua del flujo sanguíneo de manera segura y tolerable, evitando presiones más altas que son incómodas y no necesarias para producir estrés metabólico muscular general. Un problema potencial con el entrenamiento BFR es que el torniquete comprime fácilmente las estructuras venosas para restringir notablemente el retorno venoso. El flujo continuo de sangre arterial con un torniquete a una LOP del 60 % al 80 % aumenta el volumen sanguíneo general de las extremidades (23, 24).

Por tanto, el nivel óptimo de oclusión en la aplicación del BFRT debería ser el 80% del LOP individualizado a cada paciente. BFRT.

En cambio, en el estudio de los diferentes protocolos de ejercicios combinados con la terapia BFRT aplicados en la rehabilitación del LCA vemos diferentes tipos de ejercicio (*figura 8*) realizados en cada artículo, encontramos que todos los ejercicios realizados en los estudios corresponden a ejercicios de cadena cinética cerrada, más concretamente el ejercicio de prensa de pierna es utilizado en seis artículos (Curran et al. 2020; F.R Noyes et al. 2021; L. Hughes et al. 2019 (I); L. Hughes et al. 2018; L. Hughes et al. 2019 (II); Kilgas MA et al. 2019), dos artículos aplican extensiones y flexiones de rodilla (F.R Noyes et al. 2021; A. Kacin et al. 2021), otros dos artículos (F.R Noyes et al. 2021; Kilgas MA et al. 2019) utilizan sentadillas con algunas variantes, otro artículo (Kilgas MA et al. 2019) también aplica la marcha como ejercicio en la intervención, y por último, un artículo aplica Step-up (S. Telfer et al. 2021).

En cambio, si seguimos hablando del tipo de ejercicio utilizado en las intervenciones encontramos que seis artículos utilizan solo 1 ejercicio para su estudio (Curran et al. 2020, L. Hughes et al. 2019 (I); L. Hughes et al. 2018; L. Hughes et al. 2019 (II); A. Kacin et al. 2021;

S. Telfer et al. 2021), y los otros dos artículos (F.R Noyes et al. 2021; Kilgas MA et al. 2019) combinan 3 ejercicios diferentes dentro de su intervención.

Por lo que podemos concluir que los ejercicios de cadena cinética cerrada, en concreto el de prensa de pierna, podría ser beneficioso en la rehabilitación del LCA combinada con BFRT

Para terminar la discusión de nuestros objetivos secundarios, en la evaluación de la calidad metodológica de los estudios relacionados con el entrenamiento oclusivo para la extremidad inferior. En el *anexo 2 - Escala PEDro* se muestran las puntuaciones obtenidas del análisis de la calidad metodológica de los estudios seleccionados. Ningún artículo presenta una calidad metodológica excelente, cinco tienen una buena calidad metodológica: un artículo tiene una puntuación de 8 (A. Kacin et al, 2021), dos estudios con una puntuación de 7, (L. Hughes et al, 2019 x2) y dos con una puntuación de 6 (Curran et al, 2020; L. Hughes et al, 2018). En cuanto a una evidencia regular, encontramos dos artículos (Kilgas MA et al, 2019; S. Telfer et al, 2021). Por último, tenemos un artículo con una mala evidencia, con una puntuación de 2 (F.R Noyes et al, 2021). (*Figura 2*)

LIMITACIONES

En la realización de este trabajo encontramos una limitación en el nivel de evidencia de los artículos utilizados.

La media de las puntuaciones de la escala PEDro de nuestra revisión es de 5.625. Esta puntuación nos da como resultado que aunque la mayoría de estudios tengan un nivel de evidencia bueno, estamos delante de una revisión de un nivel de evidencia regular.

8- CONCLUSIÓN

En conclusión, de nuestro objetivo principal donde analizamos el efecto de la aplicación de la restricción del flujo sanguíneo en el ejercicio de rehabilitación tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior encontramos que puede favorecer significativamente en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales, aumentar el volumen y además de reducir el dolor de rodilla en la rehabilitación temprana del LCA.

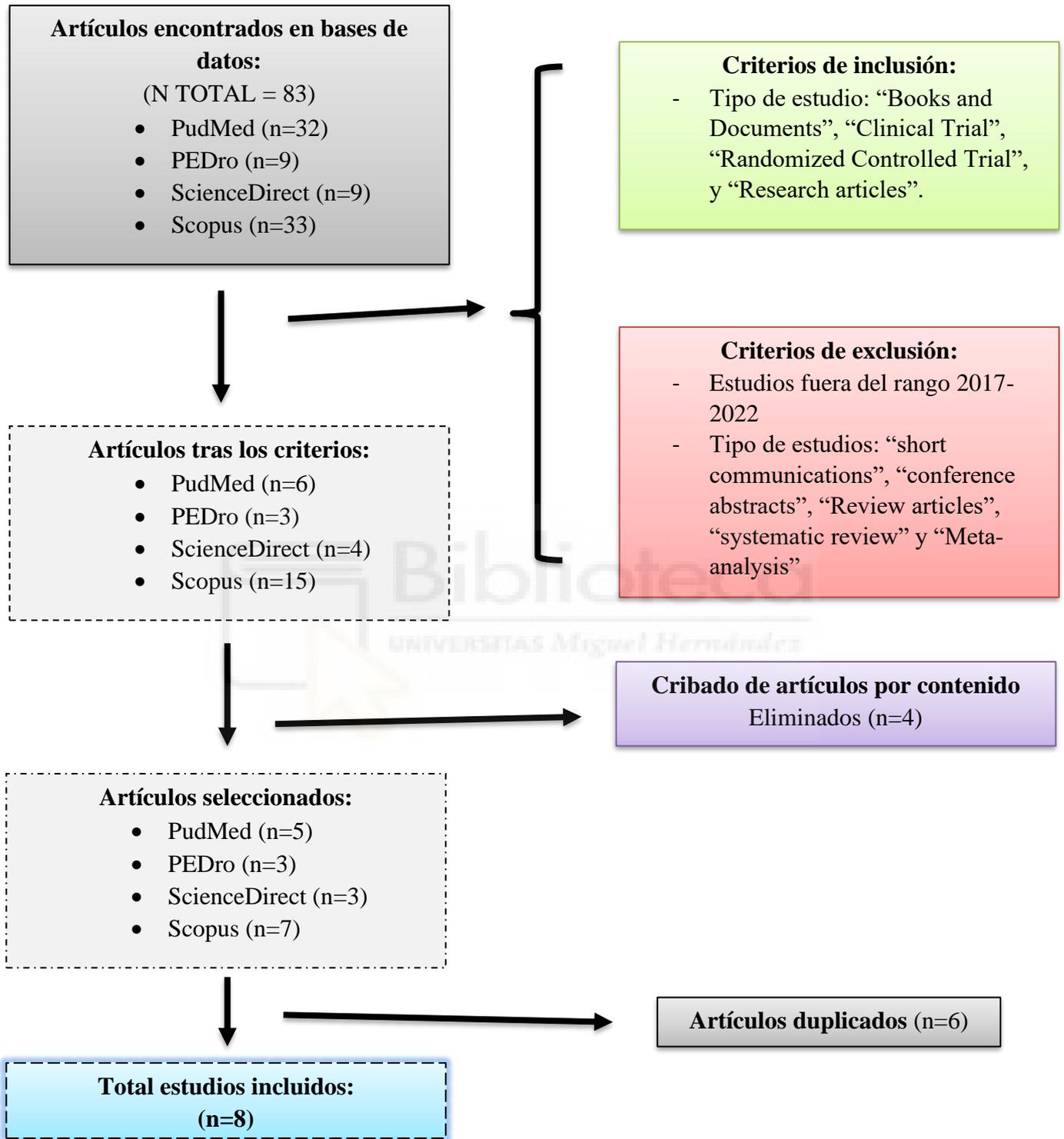
Así pues, centrándonos en los objetivos secundarios llegamos a la conclusión que una oclusión del manguito del 80% del LOP individualizado es el nivel óptimo para la realización de esta técnica de forma segura y beneficiosa.

Si hablamos de los diferentes protocolos de ejercicios combinados con la terapia BFRT aplicados en la rehabilitación del LCA, concluimos que los ejercicios de cadena cinética cerrada, como el ejercicio de prensa de pierna de baja intensidad, son los que mejor resultados favorables aportan en los estudios.

Por último, en relación a la calidad metodológica de los estudios relacionados con el entrenamiento oclusivo para la extremidad inferior, encontramos la limitación anteriormente citada. Estamos delante de una revisión con un nivel de evidencia regular.

9- ANEXOS

ANEXO 1- DIAGRAMA DE FLUJO



ANEXO 2- ESCALA PEDRO

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.
- El criterio número 1 influye en la validez externa, pero no en la validez interna del ensayo. Ha sido incluido en la escala PEDro para que todos los ítems de la escala Delphi estén representados en la escala PEDro. Este ítem no se utiliza para calcular la puntuación PEDro.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Curran et al (2020)	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	6/10
F.R Noyes et al (2021)	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	2/10
L. Hughes et al. (2019)	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	7/10
L. Hughes et al. (2018)	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓	6/10
L. Hughes et al. (2019)	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	7/10
A. Kacin et al (2021)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	8/10
Kilgas MA et al (2019)	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	5/10
S. Telfer et al 2021	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	4/10

ANEXO 3- TABLA RESUMEN 1

Autores y año	Título	Tipo de estudio	Nivel de evidencia	Objetivos	Resultados
Curran et al. 2020	Blood flow restriction training applied with high-intensity exercise does not improve quadriceps muscle function after anterior cruciate ligament reconstruction. A randomized controlled trial	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	6/10	Examinar la eficacia de BFRT con ejercicio de alta intensidad en la recuperación de la función del músculo cuádriceps en pacientes sometidos a ACLR.	No se encontraron diferencias significativas entre los grupos para ninguna medida de resultado en ninguno de los puntos temporales.
F.R Noyes et al. 2021	Blood flow restriction training can improve peak torque strength in chronic atrophic postoperative quadriceps and hamstrings muscles	Estudio prospectivo	2/10	Informar el efecto de BFRT para déficits marcados de cuádriceps o músculos isquiotibiales después de la falta de respuesta a muchos meses de rehabilitación estándar supervisada después de una cirugía de rodilla.	La BFRT produjo mejoras estadísticamente significativas en la fuerza del cuádriceps y de los isquiotibiales después de 9 y 18 sesiones en la mayoría de los pacientes con déficit severos de fuerza que no habían respondido a la rehabilitación postoperatoria estándar y monitoreada
L. Hughes et al. 2019 (I)	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	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	7/10	Comparar la efectividad de BFR-RT y el entrenamiento de resistencia de carga pesada tradicional (HL-RT) de atención estándar para mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético, la función física, el dolor y la efusión en pacientes con ACLR después de la cirugía.	La BFR-RT puede mejorar la hipertrofia y la fuerza del músculo esquelético en una medida similar a la HL-RT, con una mayor reducción del dolor y la efusión de las articulaciones de la rodilla, lo que conduce a mayores mejoras generales en la función física.

L. Hughes et al. 2018	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	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	6/10	Comparar las respuestas perceptivas y de presión arterial agudas en intervenciones BFRT con ejercicio de resistencia de carga ligera (BFR-RE) en individuos no lesionados y pacientes de reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR); y BFR-RE de carga ligera y RE de carga pesada (HL-RE) en pacientes con ACLR.	Las respuestas al ejercicio BFR pueden no limitar la aplicación e influir favorablemente en el dolor de rodilla a lo largo de los programas de entrenamiento de rehabilitación ACLR.
L. Hughes et al. 2019 (II)	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	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	7/10	Examinar la comodidad y el dolor experimentados con el entrenamiento de resistencia con restricción del flujo sanguíneo (BFR-RT) en comparación con el entrenamiento de resistencia con cargas pesadas (HL-RT) de atención estándar durante la rehabilitación de pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR).	Los pacientes con ACLR experimentaron menos dolor en las articulaciones de la rodilla e informaron calificaciones similares de esfuerzo percibido durante y después del ejercicio de prensa de piernas con BFR-RT en comparación con HL-RT tradicional.
A. Kacin et al. 2021	Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	8/10	Estudiar la hipótesis de que el entrenamiento LL-BFR desencadena ganancias aumentadas en la fuerza y el tamaño de los músculos de la rodilla, que son paralelas a las respuestas transcripcionales de los genes y las mioquinas regulados por la hipoxia.	Los resultados muestran una mayor fuerza y resistencia de los extensores de la rodilla pero menos de los flexores. El entrenamiento LL-BFR es especialmente efectivo para el acondicionamiento de los extensores de la rodilla en esta población.

Kilgas MA et al. 2019	Exercise with blood flow restriction to improve quadriceps function long after ACL reconstruction	Ensayo clínico aleatorizado prospectivo	5/10	Evaluar la efectividad de un programa de ejercicios de restricción del flujo sanguíneo (BFR) en el hogar para aumentar el tamaño y la fuerza del cuádriceps varios años después de ACLR	El grosor del recto femoral y del vasto externo y la fuerza extensora de la rodilla en la pierna afectada aumentaron. En comparación con el valor inicial, la simetría de la fuerza de los extensores de la rodilla después del entrenamiento aumentó y no difirió de los controles no lesionados.
S. Telfer et al. 2021	Biomechanical effects of blood flow restriction training after ACL reconstruction	Análisis de movimiento transversal	4/10	Determinar los efectos agudos de la BFR en el desempeño de un protocolo de ejercicios de intensificación y evaluar la aceptabilidad de la técnica.	Los participantes de ambos grupos habían aumentado la rotación externa de la tibia y reducciones en los torques de flexión y rotación de la rodilla alrededor de la articulación de cuando se usa BFR en comparación con el ejercicio step-up no restringido. Se encontró que la intervención aumentaba la dificultad del ejercicio e inducía niveles moderados de incomodidad

ANEXO 4- TABLA RESUMEN 2

Autores y año	Tamaño y características de la muestra	Intervención	Tipo de ejercicio	Tiempo del estudio
Curran et al. 2020	34 pacientes que estaban programados para someterse a ACLR	4 grupos: (1) ejercicio concéntrico, (2) ejercicio excéntrico, (3) ejercicio concéntrico con BFRT (4) ejercicio excéntrico con BFRT	Prensa de pierna isocinética - cadena cinética cerrada	16 sesiones. 2 sesiones/semana durante 8 semanas
F.R Noyes et al. 2021	27 pacientes con déficits graves de cuádriceps e isquiotibiales	Un grupo heterogéneo	Prensa de piernas, extensión y flexión de rodillas, mini-sentadillas - cadena cinética cerrada	9 sesiones. 2-3 sesiones / semana
L. Hughes et al. 2019 (I)	28 pacientes programados para cirugía ACLR unilateral con autoinjerto de isquiotibiales	2 grupos: (1) BFRT-RT (2) HL-RT	Prensa de piernas unilateral - cadena cinética cerrada	16 sesiones 2 sesiones/semana durante 8 semanas
L. Hughes et al. 2018	30 pacientes no fumadores activos sin enfermedades cardiovasculares, pulmonares ni metabólicas ni lesiones musculoesqueléticas en los últimos 12 meses.	3 grupos: (1) NI-BFR (2) ACLR-BFR (3) ACLR-HL	Prensa de piernas unilateral - cadena cinética cerrada	4 series (30-15-15-15)
L. Hughes et al. 2019 (II)	28 pacientes programados para cirugía ACLR unilateral con autoinjerto de isquiotibiales	2 grupos (1) BFRT-RT (2) HL-RT	Prensa de piernas unilateral - cadena cinética cerrada	16 sesiones 2 sesiones/semana durante 8 semanas
A. Kacin et al. 2021	18 pacientes planificados para la reconstrucción del LCA	3 grupos: (1) BFR (2) SHAM-BFR (3) Grupo control	Extensiones y flexiones de rodilla - cadena cinética cerrada	9 sesiones 3 sesiones /semanas.
Kilgas MA et al. 2019	18 pacientes. 9 intervenidos de ACLR y 9 sujetos sanos.	2 grupos: (1) Grupo intervenido ACLR (2) Grupo control sano	Prensa de piernas unilateral, media sentadilla y marcha - cadena cinética cerrada	20 sesiones 5 sesiones/semana durante 4 semanas

S. Telfer et al. 2021	40 pacientes. 20 intervenidos recientemente de ACLR y 20 sujetos sanos	4 grupos (1) Grupo control sano (2) Grupo control ACLR (3) Grupo sano BFR (4) Grupo ACLR BFR	Step-up - cadena cinética cerrada	1 sesión
--------------------------	--	--	---	----------



ANEXO 5- TABLA RESUMEN 3

Autores y año	Variables medidas	Instrumentos de medida	Nivel de ocusión
Curran et al. 2020	Fuerza isométrica e isotónica Volumen del músculo recto femoral Índice de activación central (CAR)	Fuerza: dinamómetro Biodex System 3 Volumen: Ecografía ultrasonidos CAR: Electroodos, programa personalizado LabVIEW	80 % de LOP
F.R Noyes et al. 2021	Fuerza isométrica Volumen de la circunferencia del muslo	Fuerza: Dinamómetro isocinético - Biodex System 3 Volumen: cinta métrica 5 cm y 15 cm por encima polo superior rotula"	Entre el 60 % y el 80 % del LOP
L. Hughes et al. 2019 (I)	Fuerza isotónica máxima escalada Volumen del vasto lateral La función física El dolor en la articulación de la rodilla, La efusión El rango de movimiento (ROM) Laxitud de la articulación de la rodilla	Fuerza: dinamómetro isocinético Biodex System 4 Volumen: ecografía en dispositivo de ultrasonido LOGIQ E Función física: escala del Comité Internacional de Documentación de la Rodilla y la prueba de equilibrio de excursión en estrella modificada (SEBT) Dolor: escala de dolor Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Efusión: midiendo la circunferencia de la rodilla en la parte media de la rótula con una cinta métrica flexible ROM: goniómetro con el paciente en decúbito supino. Laxitud: artrómetro de ligamentos de la rodilla KT-1000"	80 % de LOP
L. Hughes et al. 2018	Esfuerzo percibido (RPE) Dolor La presión arterial	Esfuerzo percibido (RPE) y el dolor: Escala de Borg La presión arterial: se midió en la arteria braquial utilizando un monitor de presión arterial ambulatorio Mobil-O-Graph	80 % de LOP

L. Hughes et al. 2019 (II)	El dolor de rodilla percibido, el dolor muscular El índice de esfuerzo percibido (RPE)	El dolor de rodilla percibido, el dolor muscular y el índice de esfuerzo percibido (RPE) se evaluaron utilizando la escala Borg y escalas de dolor durante el entrenamiento.	80 % de LOP
A. Kacin et al. 2021	El área transversal (CSA) la fuerza isocinética de los músculos de la rodilla	El área transversal (CSA): escáner de resonancia magnética 3T La fuerza isocinética de los músculos de la rodilla: sistema dinamométrico	BFR: 150 mmHg SHAM-FR: 20mmHg
Kilgas MA et al 2019	Volumen del recto femoral y del vasto lateral la fuerza extensora de la rodilla	Volumen del recto femoral y del vasto lateral: mediante ecografía en modo B Logiq e BT12, GE Healthcare La fuerza extensora de la rodilla: máquina de fuerza de extensión de rodilla (Cybex, Life Fitness)	50 % de LOP
S. Telfer et al 2021	La cinemática y la cinética de las extremidades inferiores se midieron y compararon entre grupos y condiciones	Sistema Vicon de ocho cámaras a 100 Hz dos placas de fuerza adyacentes a una frecuencia de 1000 Hz"	80 % de LOP

ANEXO 6- GRÁFICAS

Figura 1:

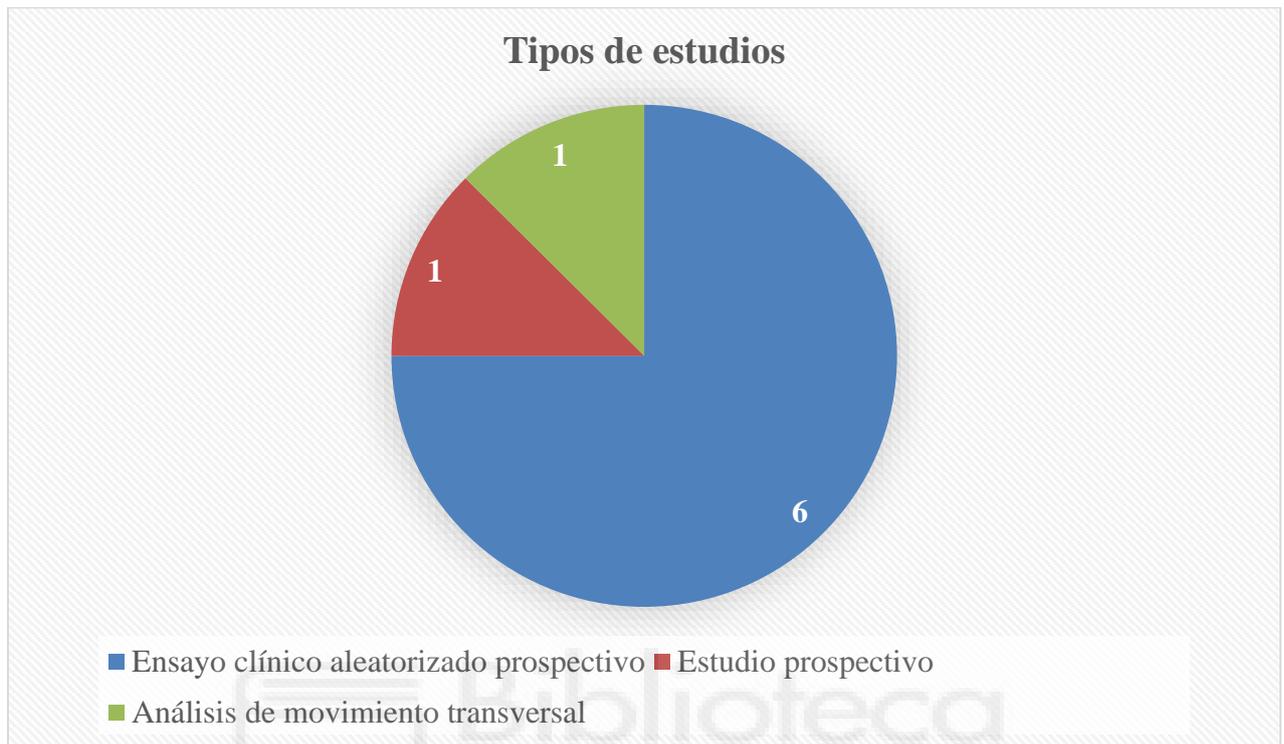


Figura 2:

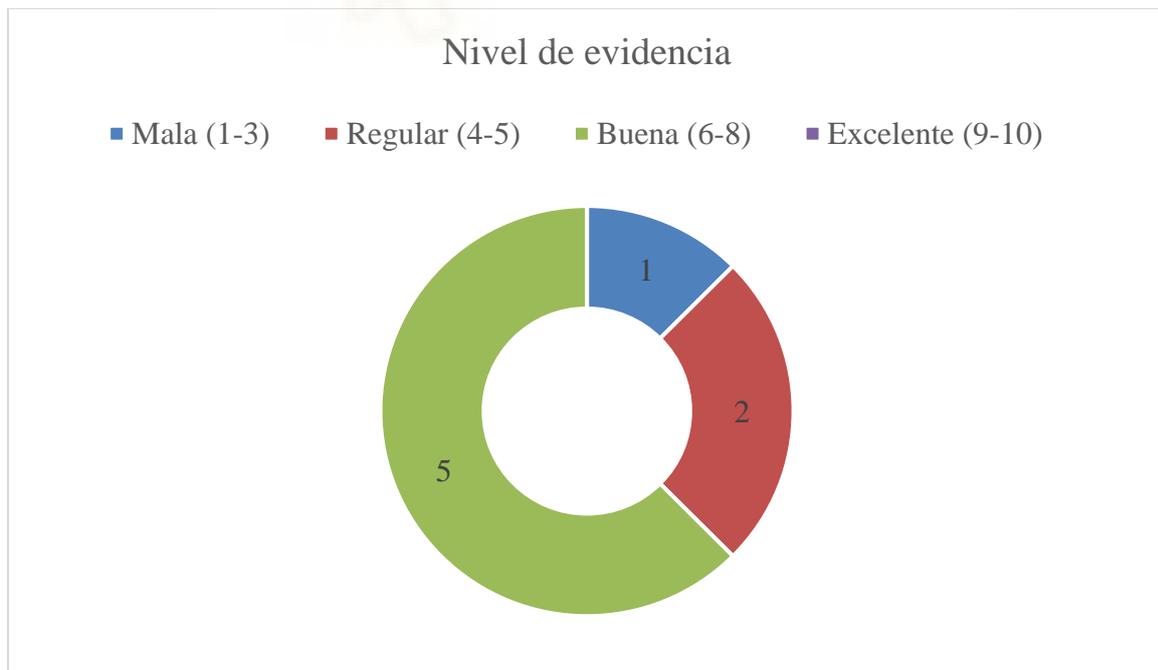


Figura 3:

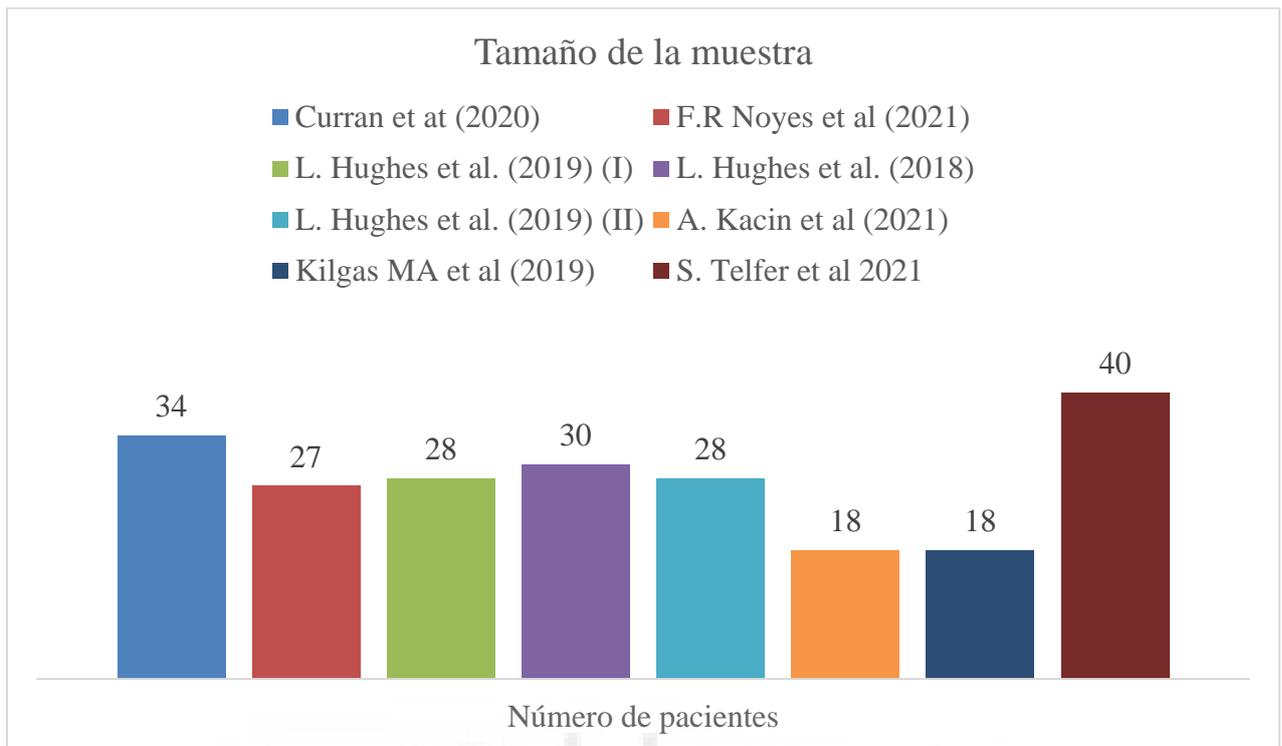


Figura 4:

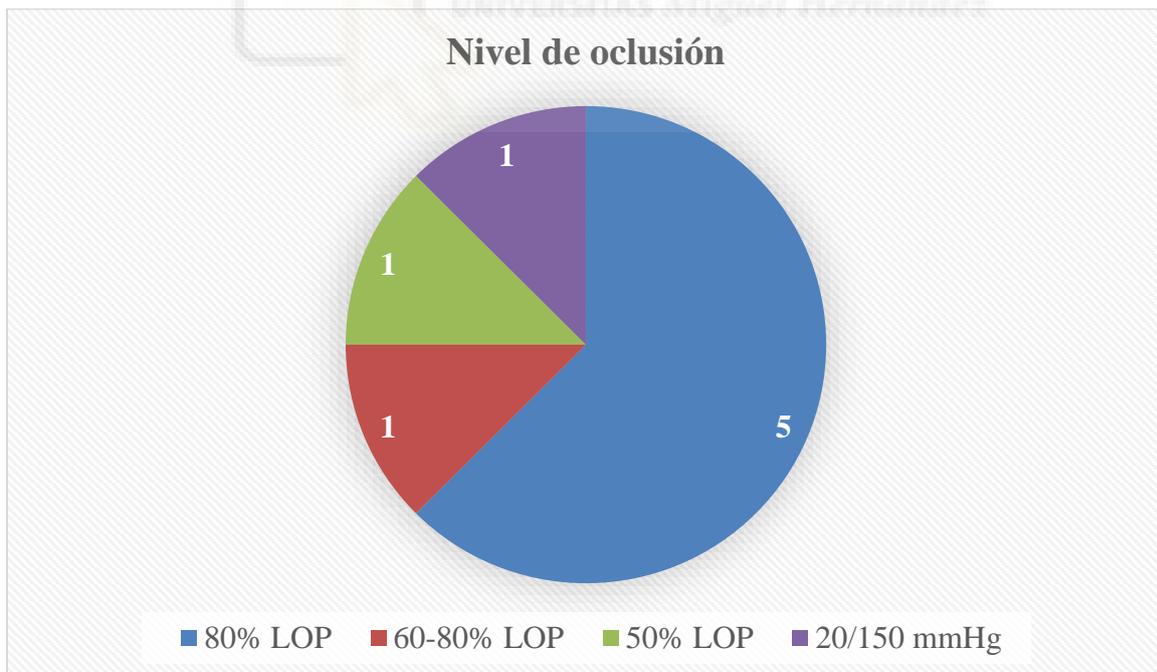


Figura 5:

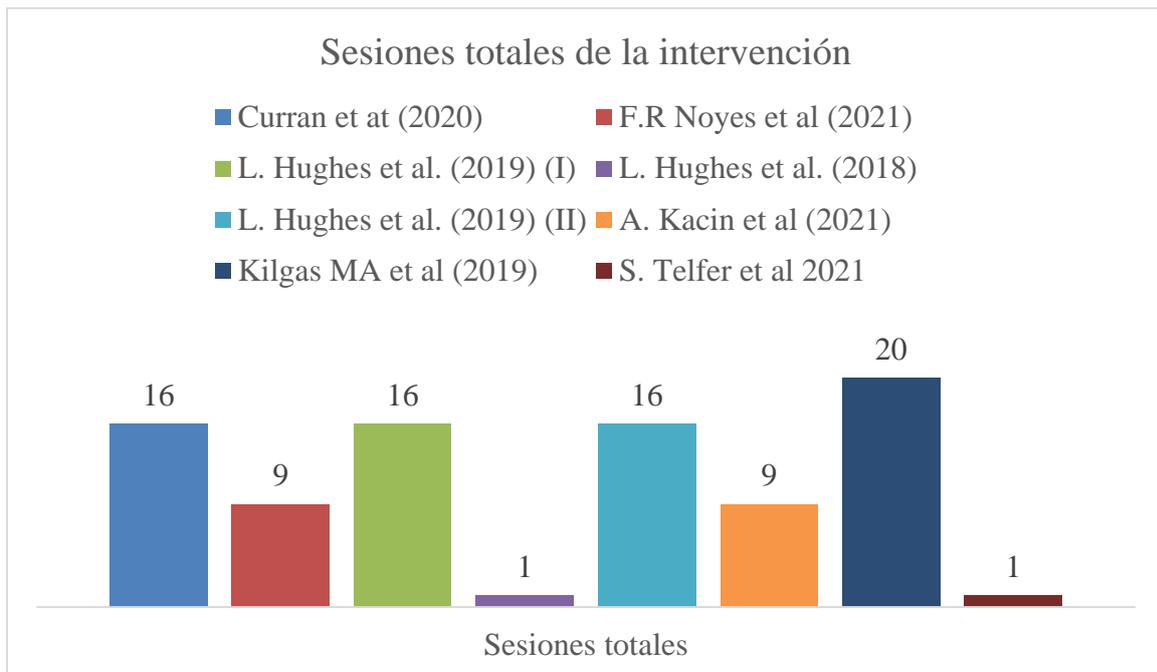


Figura 6:

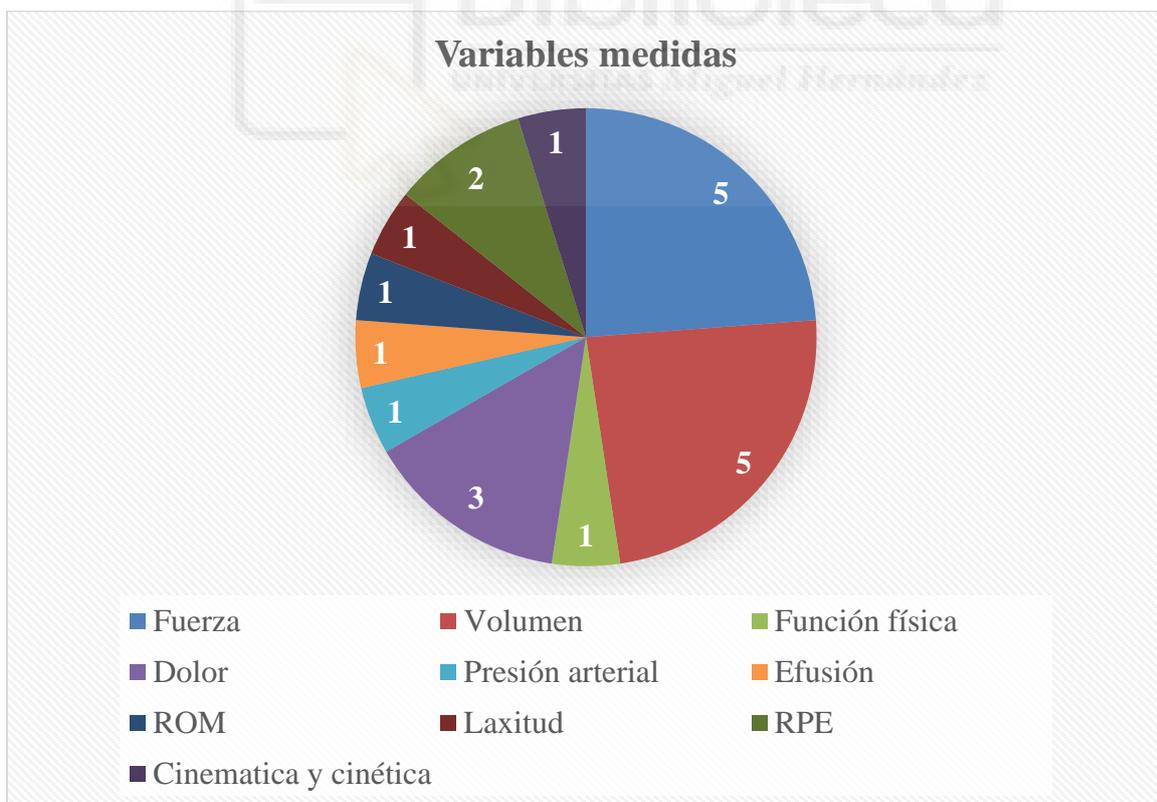


Figura 7:

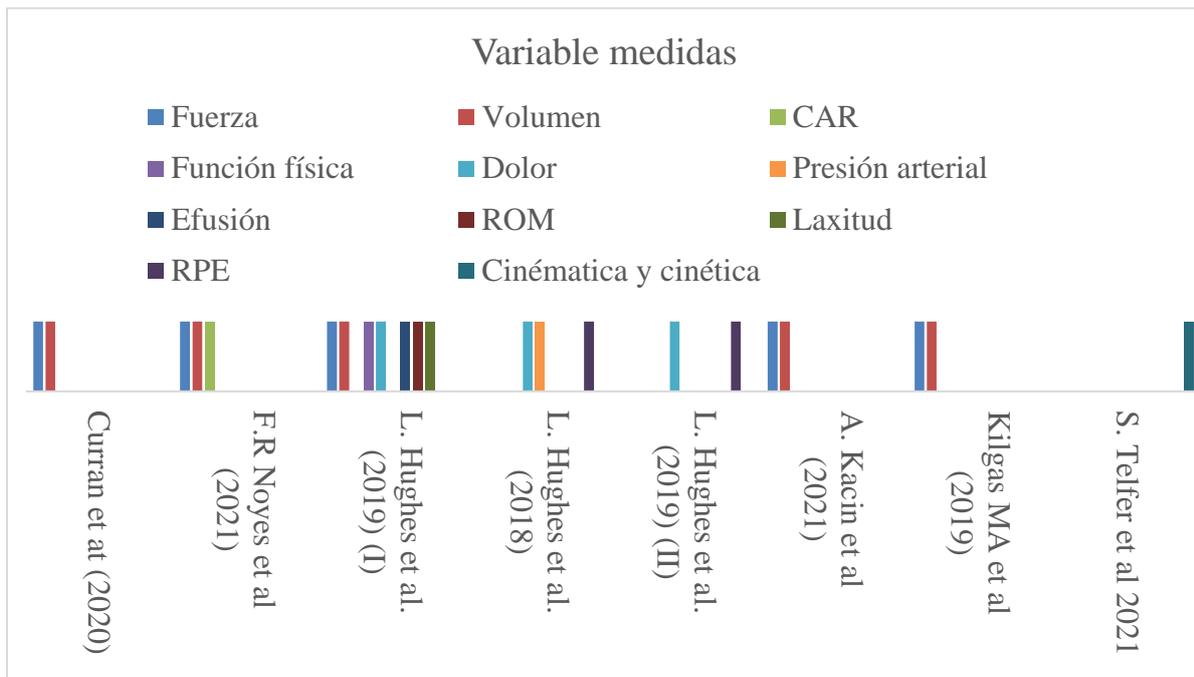
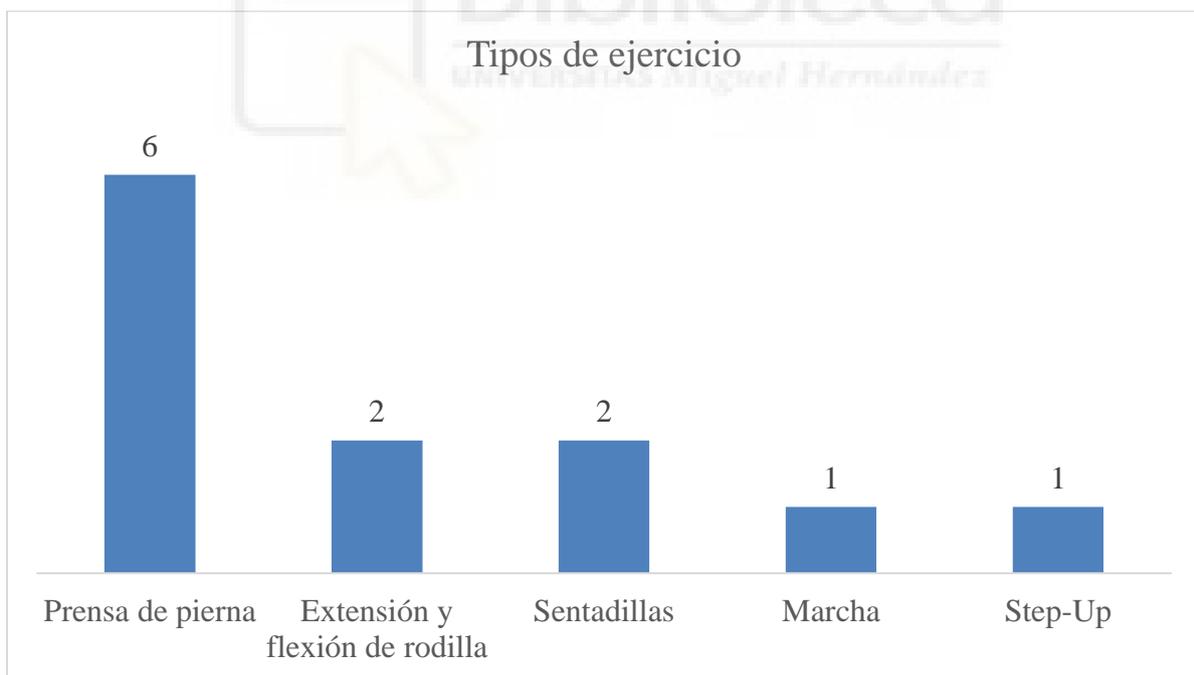


Figura 8:



BIBLIOGRAFÍA:

1. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res.* 2007 Jan;454:35-47
2. Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J Sport Med.* 2012 Jul;22(4):349-55.
3. Hughes G, Watkins J. A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Med.* 2006;36(5):411-28.
4. Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynnon B, Fukubayashi T, Garrett W, Georgoulis T, Hewett TE, Johnson R, Krosshaug T, Mandelbaum B, Micheli L, Myklebust G, Roos E, Roos H, Schamasch P, Shultz S, Werner S, Wojtys E, Engebretsen L. Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med.* 2008 Jun;42(6):394-412.
5. Sutton KM, Bullock JM. Anterior cruciate ligament rupture: differences between males and females. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013 Jan;21(1):41-50.
6. Acevedo RJ, Rivera-Vega A, Miranda G, Micheo W. Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Curr Sports Med Rep.* 2014 May-Jun;13(3):186-91.
7. Krosshaug T, Slauterbeck JR, Engebretsen L, Bahr R. Biomechanical analysis of anterior cruciate ligament injury mechanisms: three-dimensional motion reconstruction from video sequences. *Scand J Med Sci Sports.* 2007 Oct;17(5):508-19.
8. Petersen W, Zantop T. Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin Orthop Relat Res.* 2007 Jan;454:35-47
9. Grindem H, Granan LP, Risberg MA, Engebretsen L, Snyder-Mackler L, Eitzen I. How does a combined preoperative and postoperative rehabilitation programme influence the outcome of ACL reconstruction 2 years after surgery? A comparison between patients in the Delaware-Oslo ACL Cohort and the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Br J Sports Med.* 2015 Mar;49(6):385-9

10. Beynon BD, Uh BS, Johnson RJ, Abate JA, Nichols CE, Fleming BC, Poole AR,
11. Wernbom M, Augustsson J, Raastad T. Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:401e16.
12. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 2000a; 88 (6): 2097-106.
13. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc* 2000b; 32 (12): 2035-9.
14. Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med.* 2010;31(1):1-4.
15. Slysz J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016;19(8):669-675.
16. Roig M, O'Brien K, Kirk G, 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.* 2009;43(8):556-568.
17. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(3):406-412.
18. Loenneke JP, Wilson GJ, Wilson JM. A mechanistic approach to blood flow occlusion. *Int J Sports Med.* 2010;31(1):1-4.)
19. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2857-2872.
20. Schoenfeld BJ. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med.* 2013;43(3):179-194.
21. Biazon T, Ugrinowitsch C, Soligon SD, 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.

22. Curran MT, Bedi A, Mendias CL, Wojtys EM, Kujawa MV, Palmieri-Smith RM. Blood Flow Restriction Training Applied With High-Intensity Exercise Does Not Improve Quadriceps Muscle Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2020 Mar;48(4):825-837. doi: 10.1177/0363546520904008. PMID: 32167837.
23. Aebi MR, Willis SJ, Girard O, Borrani F, Millet GP. Activepreconditioning with blood flow restriction or/and sys-temic hypoxic exposure does not improve repeated sprint cycling performance. *Front Physiol* 2019;10:1393.
24. Willis SJ, Alvarez L, Borrani F, Millet GP. Oxygenation time course and neuromuscular fatigue during repeated cycling sprints with bilateral blood flow restriction. *Physiol Rep* 2018;6:e13872.

