

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN FISIOTERAPIA**



**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LA REHABILITACIÓN TRAS LA  
RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR**

**AUTOR:** CAMARASA GONZÁLEZ, BORJA.

**N.º Expediente:** 228.

**TUTOR:** COLMENA ZARAGOZA, CARLOS MANUEL.

**Departamento y Área:** PATOLOGÍA Y CIRUGÍA.

**Curso académico** 2021-2022.

**Convocatoria de** Junio.



## **AGRADECIMIENTOS**

Transmitir mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han ayudado a lo largo de esta etapa y han colaborado en esta investigación.

En primer lugar, a mi tutor, Carlos Manuel Colmena Zaragoza, por su ayuda en la planificación, información y organización en este Trabajo de Fin de Grado.

En segundo lugar, a mi madre Manoli, que me ha apoyado en todo momento durante toda la carrera y me ha animado a seguir adelante.

A ambos, mil gracias.





## ÍNDICE DE LOS CONTENIDOS

1. Resumen y palabras clave .....	9
2. Abstract and key words .....	11
3. Introducción .....	13
a. Anatomía y biomecánica del ligamento cruzado anterior (LCA) .....	13
b. Epidemiología del LCA .....	13
c. Cirugía del LCA .....	13
d. Secuelas tras la operación de reconstrucción del LCA .....	14
e. Rehabilitación LCA .....	15
4. Justificación .....	17
5. Hipótesis .....	17
6. Objetivos .....	19
a. Objetivo principal .....	19
b. Objetivos específicos .....	19
7. Material y métodos .....	21
8. Resultados .....	23
9. Discusión .....	25
a. Mejores tratamientos tras RLCA .....	25
b. Efectividad de la RFS .....	26
c. Adaptaciones funcionales y moleculares con RFS .....	26
d. Regeneración muscular y entrenamiento de fuerza .....	27
e. Limitaciones .....	27
10. Conclusión .....	29
11. Anexo de figuras y tablas .....	31
a. <u>Figura 1.</u> Cronograma, elaboración propia .....	31
b. <u>Figura 2.</u> Autorización de la Oficina de Investigación Responsable .....	33
c. <u>Figura 3.</u> Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica. Elaboración propia .....	35
d. <u>Tabla 1.</u> Calidad metodológica en los estudios con la escala PEDro .....	37
e. <u>Figura 4.</u> Diagrama de flujo PRISMA, Page MJ et al, 2020 .....	39
f. <u>Tabla 2.</u> Tabla de resultados. Elaboración propia .....	41
12. Bibliografía .....	47



## TABLA DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Significado
ACL	Anterior cruciate ligament
ACLR	Anterior cruciate ligament reconstruction
BAM	Bandas anteromediales
BFRT	Blood flow restriction training
BPL	Bandas posterolaterales
CE	Cross education
COMP	Proteína de la matriz oligomérica del cartílago
CRP	Proteína c-reactiva
ED	Educación cruzada
EENM	Estimulación eléctrica neuromuscular
EEI	Entrenamiento excéntrico isocinético
EFRFS	Entrenamiento de fuerza con restricción del flujo sanguíneo
ER	Extensores de rodilla
ERSL	Ejercicios repetidos de sentarse y levantarse
FAP	Progenitoras figrogénicas/adipogénicas
IET	Isokinetic eccentric training
MHC I	Miosina de cadena pesada I
MHCneo	Miosina de cadena pesada neonatal
MMII	Miembros inferiores
NMES	Neuromuscular electrical electrostimulation
LCA	Ligamento cruzado anterior

LL	Lower limb
OIR	Oficina de Investigación Responsable
RFS	Restricción del flujo sanguíneo
RLCA	Reconstrucción ligamento cruzado anterior
TGF- $\beta$	Factor de crecimiento transformador- $\beta$
VCC	Vibración de cuerpo completo
VEGF-A	Factor vascular A de crecimiento endotelial
VME	Vibración muscular específica



## 1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

**Introducción:** El ligamento cruzado anterior (LCA) es la contención primaria del desplazamiento anterior de la tibia. Un gran porcentaje de las roturas del LCA son planificados para su reconstrucción. Tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (RLCA), los pacientes presentan una pérdida de fuerza y masa muscular del miembro inferior.

**Objetivos:** Conocer el tratamiento más idóneo mediante ejercicio terapéutico para la rehabilitación del LCA.

**Material y métodos:** Búsqueda en las bases de datos PubMed, SciELO, Cochrane Library, PEDro y Enfispo, incluyendo los artículos publicados entre 2016 y 2022, que hablasen sobre tratamientos para la rehabilitación del LCA mediante ejercicio terapéutico.

**Resultados:** Los resultados obtenidos muestran que la utilización de la electroestimulación eléctrica neuromuscular (EENM) y la educación cruzada (EC) combinada con ejercicios para miembros inferiores (MMII), sería recomendable para fases más tempranas post-intervención. Tras esta fase temprana, el entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo (ERFS) y el entrenamiento excéntrico isocinético (EEI) combinado con un trabajo enfocado para los MMII, sería la opción más idónea.

**Conclusión:** la EENM y la EC serían los tratamientos de elección para las fases tempranas post-intervención y el ERFS y EEI serían los recomendados tras la fase temprana, todos ellos combinados con ejercicios para los MMII.

**Palabras clave:** “Ligamento cruzado anterior”, “Ejercicio terapéutico”, “Reconstrucción ligamento cruzado anterior”, “Rehabilitación”, “Fisioterapia”.



## 2. ABSTRACT AND KEY WORDS

**Introduction:** The anterior cruciate ligament (ACL) is the primary containment of anterior tibial displacement. A large percentage of ACL tears are planned for reconstruction. After anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR), patients present a loss of strength and muscle mass of the lower limb.

**Objectives:** To know the most suitable treatment by means of therapeutic exercise for ACL rehabilitation.

**Material and methods:** Search in PubMed, SciELO, Cochrane Library, PEDro and Enfispo databases, including articles published between 2016 and 2022, which discussed treatments for ACL rehabilitation through therapeutic exercise.

**Results:** The results obtained show that the use of neuromuscular electrical electrostimulation (NMES) and cross education (CE) combined with lower limb (LL) exercises would be recommended for earlier post-intervention phases. After this early phase, blood flow restriction training (BFRT) and isokinetic eccentric training (IET) combined with focused work for the lower limbs would be the most suitable option.

**Conclusion:** NMES and CE would be the treatments of choice for the early post-intervention phases and ERFS and IEE would be recommended after the early phase, all of them combined with exercises for the LL.

**Key words:** "Anterior cruciate ligament", "Therapeutic exercise", "Anterior cruciate ligament reconstruction", "Rehabilitation", "Physical therapy".



### **3. INTRODUCCIÓN**

#### **a. Anatomía y biomecánica del LCA**

Los ligamentos cruzados están formados por bandas de tejido conectivo denso. Los fascículos se segmentan en bandas anteromediales (BAM) y bandas posterolaterales (BPL). Con la rodilla en extensión, las BPL se hallan tensas, y con la flexión máxima, las BAM se hallan tensas. Las fibras son paralelas con la rodilla en extensión y cuando se flexiona la articulación, el ligamento gira sobre sí mismo [1].

La articulación de la rodilla realiza 3 movimientos de traslación y 3 de rotación. El LCA es la contención primaria del desplazamiento anterior de la tibia. Se ha verificado que este ligamento posee resistencia al desplazamiento medial de la tibia en extensión completa y en 30º de flexión. Una función secundaria del LCA es la resistencia a la rotación tibial [1].

#### **b. Epidemiología del LCA**

La rotura del LCA se trata de una lesión con una alta importancia epidemiológica. En Estados Unidos, se ha estimado una incidencia de entre 80000 y 250000 casos al año y de entre ellos unos 100000 son sujetos a una intervención reconstructiva de rodilla. Estas operaciones generan un gasto de 1000 millones de dólares al año. La lesión se ha observado en distintos grupos de edad, entre los 8 y los 63 años, de los cuales el 70,68% son hombres y el 29,32% mujeres, siendo de estos porcentajes un 14,05% atletas de alto rendimiento. Aproximadamente un 35,82% son lesiones producidas con la rodilla en valgo y un 11,21% con la rodilla en varo, siendo el deporte la causa principal de estas lesiones [2].

#### **c. Cirugía del LCA**

Hay cuatro puntos importantes a tener en cuenta en la RLCA: tiempo de la cirugía, tipo de injerto, técnica transtibial o portal anteromedial y una banda o doble banda. El injerto idóneo es aquel que consiga imitar las características histológicas y biomecánicas del ligamento original, además de una incorporación total y rápida con un ínfimo riesgo de reacción inmune y propagación de enfermedades infecciosas. También, hay que tener en cuenta que el ligamento cuente con una longitud y diámetro suficientes [3].

Cuando el LCA se desgarran en su totalidad, el abordaje quirúrgico se lleva a cabo mediante una artroscopia donde se reconstruye un nuevo ligamento. Hay distintos tipos de injerto para la operación:

- Autoinjerto de tendón rotuliano (hueso-tendón-hueso, HTH), siendo el que más fuerza y estabilidad da, aunque de vez en cuando deja dolores residuales posteriores a la cirugía en la cara anterior de la rodilla
- Autoinjerto del cuádriceps, el cual posee una baja incidencia de dolor anterior de rodilla y disestesias, con una laxitud parecida al HTH, sin pérdida de la extensión
- Autoinjerto de tendón de la pata de ganso (semitendinoso o recto interno), donde se conserva el aparato extensor, disminuyendo el dolor de la rodilla, aunque con menor estabilidad
- Aloinjerto, tendón de un donante (normalmente un cadáver) [3]

#### **d. Secuelas tras la operación de RLCA**

Tras una operación de RLCA, los pacientes experimentan una pérdida significativa de la fuerza del miembro inferior debido a una atrofia muscular y a una inhibición artrogénica (inhibición refleja continua de los músculos que rodean una articulación lesionada). La debilidad de los músculos extensores y flexores de rodilla es considerable durante las primeras 12 semanas tras la operación, alterando la función del miembro inferior y la calidad de vida del sujeto [4].

La pérdida persistente de músculo y fuerza puede llevar a una asimetría de cuádriceps, la cual está asociada con una alteración en la carga articular, la mecánica de la marcha, una limitada actividad física y un aumento en las posibilidades de volver a padecer la lesión. Además, la asimetría crónica de cuádriceps, puede llevar a un comienzo prematuro de osteoartritis [5, 6, 7]. La pérdida de masa muscular es atribuida a una alteración de la función neuromuscular y una inflamación post-cirugía. Sin embargo, esta es agravada por la inmovilización post-cirugía y probablemente por las heridas ocasionadas en la operación del injerto, especialmente con el uso de autoinjertos del tendón del cuádriceps o del tendón de la patela [6].

Los efectos degenerativos de la atrofia muscular pueden ser vistos tanto en lesiones musculoesqueléticas agudas como en crónicas, que dan como resultado un tratamiento prolongado o una inmovilización muscular. La pérdida de fuerza es un gran riesgo para la aparición de osteoartritis, la enfermedad musculoesquelética más común responsable de una reducida actividad y calidad de vida de quien la sufre, afectando alrededor de 250 millones de personas alrededor del mundo. Por lo tanto, es obligatorio focalizarse cuanto antes en la debilidad muscular durante la rehabilitación [8].

### **e. Rehabilitación LCA**

Tras la cirugía de RLCA, los profesionales suelen dividir el periodo de rehabilitación por semanas. Desde el momento post-intervención hasta pasados unos 7-10 días, siguiendo las recomendaciones del cirujano, el paciente debería de realizar apoyos sin cargar peso en la pierna, aplicar frío alrededor de 10 min cada 2-3 horas y realizar ejercicios isométricos para cuádriceps, todo esto combinado con las pertinentes ayudas farmacológicas antiinflamatorias y analgésicas pautadas por el médico. A partir del 7-10º día y hasta la 3ª semana, el objetivo principal sería reducir la inflamación y el derrame articular. También, se debería de empezar a ganar movilidad articular de la rótula pasivamente, llegar a una extensión de rodilla de 0º y comenzar a tonificar la musculatura. Cuando se observe una marcha dinámica y pasiva, estaría indicada la retirada de una muleta.

Pasada la 2ª semana y hasta la 6ª semana, se debería de retirar la segunda muleta alrededor de la 4ª semana para comenzar a realizar una marcha funcional. Además, habría que empezar a ganar movilidad articular entre 120º y 130º y tonificar la musculatura, así como el comienzo de la realización de ejercicios excéntricos a partir de la tercera semana y de ejercicios de cadena cinética abierta a partir de la cuarta semana. La eliminación de la inflamación y el edema sería otro objetivo a seguir si aún persistiesen.

De la 6ª semana a la 8ª semana, habría que continuar con la tonificación muscular y empezar con ejercicios propioceptivos en cadena cinética cerrada y con el balance articular completo. Tras la 8ª semana hasta la 12ª semana, empezaría la implementación de la potenciación muscular progresiva, el trabajo en bicicleta elíptica o estática y se continuaría con el trabajo propioceptivo.

A partir de la 12ª semana a la 16ª, se pasaría a una potenciación muscular intensa y a ejercicios propioceptivos de mayor dificultad. También se podría empezar a realizar carrera continua progresiva. Finalmente, de la 16ª semana en adelante, se produciría la vuelta progresiva al deporte si hubiese alguno, continuando con la mejora de la función muscular y estando atentos a posibles alteraciones biomecánicas para así prevenir nuevas lesiones [9].



#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, muchos son los tratamientos utilizados en fisioterapia para la rehabilitación del LCA. A pesar de ello, no existe ningún consenso sobre cuál sería el protocolo más adecuado de actuación.

#### **5. HIPÓTESIS**

Una adecuada comparativa de los tratamientos vigentes, así como la puesta en marcha de tratamientos novedosos, como pudiera ser el EFRFS, permitirían discernir entre las diferentes estrategias, cual es o cuales son las más adecuadas para el tratamiento del LCA.





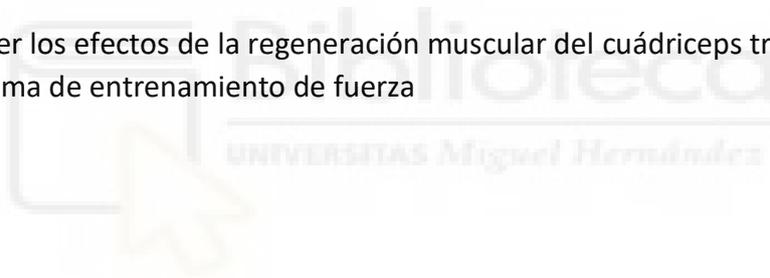
## **6. OBJETIVOS**

### **a. Objetivo principal**

Proyectar el tratamiento más idóneo a partir de la comparación de los últimos años de investigación existentes para la rehabilitación mediante ejercicio terapéutico tras la RLCA.

### **b. Objetivos específicos**

1. Conocer la efectividad del tratamiento mediante la RFS para la rehabilitación del LCA
2. Conocer las adaptaciones funcionales y moleculares del cuádriceps e isquiotibiales tras el entrenamiento con RFS
3. Conocer los efectos de la regeneración muscular del cuádriceps tras un programa de entrenamiento de fuerza





## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

Se plantea una revisión sistemática bibliográfica llevada a cabo en diversas bases de datos, en la cual se abordan los temas enunciados en objetivos con intención de facilitar el camino para futuras investigaciones. Esta fue diseñada siguiendo las indicaciones PRISMA para revisiones sistemáticas (Page MJ et al, 2020), siguiendo los tiempos descritos en la *“Figura 1. Cronograma, elaboración propia”*, y teniendo la aprobación del OIR, adjunto en la *“Figura 2. Autorización de la Oficina de Investigación Responsable (OIR)”*.

Se realizó una búsqueda sistemática retrospectiva entre el mes de noviembre y enero de 2021-2022 en las bases de datos Pubmed, SciELO, Cochrane Library, PEDro y Enfispo; utilizándose en todos los casos el operador booleano “AND” y estableciendo en todas las bases de datos citadas con anterioridad un filtro de tiempo que acotara la búsqueda entre los años 2016 y 2022 para intentar realizar una investigación lo más actualizada posible.

En primer lugar, se procedió a aplicar los criterios de inclusión pertinentes para realizar una búsqueda lo más precisa posible, los cuales fueron que los estudios estuviesen publicados entre el año 2016 y 2022 y que cumplieran con una puntuación de 4/11 en la escala PEDro. Asimismo, se establecieron varios criterios de exclusión para realizar una búsqueda de mejor calidad, los cuales fueron aquellos artículos que estuviesen duplicados, estudios de pago y revisiones sistemáticas y meta-análisis.

En la *“Figura 3. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica. Elaboración propia.”* se pueden observar los pasos seguidos para realizar la revisión bibliográfica, no obstante, se expone un breve resumen de su desarrollo. En la estrategia de búsqueda utilizada en la base de datos de Pubmed, se utilizó el siguiente algoritmo: (“anterior cruciate ligament”) AND (“rehabilitation”) AND (“acl”) AND (“exercise therapy”) AND (“exercise”) AND (“physiotherapy”) AND (“physical therapy”) AND (“strength training”). Dicho esquema dio una búsqueda de 151 artículos, el cual dio, tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, un total de 59 artículos que fueron revisados. En primer lugar, se procedió a la estratificación por título, cuyo proceso dejó un total de 41 artículos. Seguidamente se procedió al cribado por abstract, el cual dejó un total de 19 artículos que fueron revisados a texto completo.

En la base de datos de SciELO se utilizó la estrategia (“anterior cruciate ligament”) AND (“rehabilitation”) AND (“exercise”). Dicha búsqueda dio un total de 2 artículos, los cuales fueron revisados los dos a texto completo tras la aplicación de los filtros y su revisión por título y por abstract.

En PEDro, (“anterior cruciate ligament”) and (“physiotherapy”) and (“exercise”) fue la construcción utilizada para la búsqueda. Se dieron con 11 artículos, los cuales fueron sometidos a los criterios de exclusión e inclusión, dejando un total de 5 artículos. Después de la revisión de estos por título, quedó un total de 4 artículos y, posteriormente, tras la revisión por abstract, se llegó a un artículo el cual fue revisado en su totalidad.

En Cochrane se utilizó como motor de búsqueda (“exercise therapy”) and (“anterior cruciate ligament”) and (“physical therapy”), lo cual dio la suma de 80 artículos. Como en el resto de artículos, se procedió a la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, lo cual dejó la búsqueda en 12 estudios. Se empezó revisando dichos artículos por título, dejando así 5 artículos para revisarlos por abstract, dejando finalmente un total de 4 artículos para su revisión a texto completo.

Por último en la base de datos de Enfispo fue utilizado únicamente el descriptor (“ligamento cruzado anterior”), el cual dio un resultado de 8 artículos. Todos los criterios nombrados con anterioridad fueron aplicados, dejando 8 artículos, los cuales fueron todos descartados por título.

Tras la aplicación de los filtros y los criterios de inclusión y exclusión, se obtuvieron un total de 95 artículos entre todas las bases de datos nombradas. Tras la eliminación de todos los artículos que estuviesen repetidos se quedó una suma de 87 artículos y tras cribar los estudios por título, un total de 52 artículos. Finalmente, tras la estratificación por abstract, encontramos una cuantía de 26 artículos, los cuales fueron leídos y estudiados minuciosamente para su utilización en la elaboración de la presente revisión sistemática bibliográfica.

La calidad metodológica de los artículos elegidos se evaluó mediante la escala Physiotherapy Evidence Database (PEDro) (Maher C, 2003), que se puede apreciar en la “*Tabla 1. Calidad metodológica en los estudios con la escala PEDro*”, la cual puntúa los estudios entre 1 y 11 puntos. El propósito de esta escala, es identificar con rapidez los estudios que pueden tener suficiente validez externa (criterio 1), suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11).

## 8. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, según el proceso de selección de las directrices PRISMA (*Figura 4. Diagrama de flujo PRISMA, Page MJ et al, 2020*) en esta revisión se pueden ver de forma detallada en “Tabla 2. Tabla de resultados. Elaboración propia”. No obstante, se expone un breve resumen:

En fases más tempranas post-intervención, sería recomendable la combinación de la EENM + ejercicios repetidos de sentarse y levantarse (ERSL) con la EC, ya que la EENM + ERSL aumentó la fuerza muscular de los extensores de rodilla, acompañado con una menor percepción de dolor [10] y la EC aumentó la fuerza del cuádriceps de ambas rodillas [11]. Tras esta fase, sería recomendable el uso del ERFS y el EEI, ya que el ERFS puede mejorar la fuerza y la hipertrofia muscular con una reducción del dolor en la rodilla [4] y la EEI llevó a un mayor desarrollo de la masa muscular y a una mejora en los picos de torsión excéntricos e isométricos [7].

El ERFS puede mejorar la hipertrofia musculoesquelética y la fuerza a un mismo nivel que el entrenamiento pesado pero, reduciendo el dolor articular de rodilla y el derrame, llevando a una mejora en general de la función física [4].

El ERFS aumenta el tamaño cuádriceps y el pico de torsión de los extensores de rodilla. Asimismo, hay un descenso en el índice de fatiga de los extensores de rodilla y un aumento del factor vascular A de crecimiento endotelial (VEGF-A). También, la expresión del ARNm de la miostatina y sus receptores fue reducida en el semitendinoso [12].

El entrenamiento de fuerza con sobrecarga de la excéntrica conlleva a un incremento en el tamaño del cuádriceps y la fuerza. Además, incrementó el tamaño de todos los tipos de fibras y el porcentaje de fibras tipo I. Asimismo, tras el entrenamiento hubo un incremento del número de fibras de la miosina de cadena pesada I (MHC I) y de la miosina de cadena pesada neonatal (MHCneo) [6].



## 9. DISCUSIÓN

### a. Mejores tratamientos tras RLCA

Cada estudio revisado en la presente revisión bibliográfica abarca diferentes modalidades de tratamiento tras la RLCA, a saber:

Gran cantidad de estudios se centraron en la RFS, Hughes et al. 2019, concluyeron que el ERFS puede mejorar la masa muscular y la fuerza a un mismo nivel que el entrenamiento pesado pero, reduciendo el dolor de rodilla. En adición, Kacin et al. 2021, respaldaron esta mejora de la masa muscular del cuádriceps y añadieron que la RFS también producía cambios en el pico de torsión de los extensores de rodilla. Sin embargo, Curran et al. 2020, postularon que el ERFS no mejoraba la función del cuádriceps aplicado con ejercicio de alta intensidad, lo que va acorde con otros estudios, ya que en ellos se lleva a cabo la RFS con un entrenamiento de baja intensidad.

Otra modalidad de tratamiento común es el entrenamiento de fuerza, Welling et al. 2019, atisbaron que los futbolistas que llevaron a cabo un entrenamiento progresivo de fuerza pueden recuperar la fuerza del cuádriceps y los isquiotibiales al nivel de una persona sana los 7 meses post-intervención. Además, a los 10 meses llegaron a ser más fuertes que las personas sanas. En contraposición, Vidmar et al. 2020, observaron que el EEI era más efectivo que el entrenamiento con carga constante en la excéntrica. El EEI, produjo una mejora más significativa en la masa muscular y en los picos de torsión excéntricos e isométricos.

Del mismo modo, la educación cruzada también ha sido estudiada por diversos investigadores. Harput et al. 2019, concluyeron que la EC de los miembros sanos en fases tempranas de la rehabilitación del LCA, puede mejorar la fuerza del cuádriceps del miembro reconstruido. Además, Zult et al. 2018, añadieron que la EC también mejoró el control de la fuerza y el balance dinámico de ambas piernas, a parte de la fuerza máxima del cuádriceps. Pero, agregaron que utilizar la EC no aceleraba la recuperación.

La estimulación eléctrica neuromuscular, ha sido también examinada en profundidad por los expertos. Labanca et al. 2018, observaron que la EENM superpuesta a ejercicios de levantarse y sentarse producía mayores mejoras en la fuerza muscular de los extensores de rodilla, acompañado en una menor percepción del dolor y una mayor simetría de la extremidad inferior en comparación con ningún tratamiento adicional a la rehabilitación estándar. Conjuntamente, Caitlin et al. 2021, también evidenciaron efectos óptimos en el tratamiento, siendo recomendable su aplicación durante las 2 primeras semanas post-intervención.

## **b. Efectividad de la RFS**

La utilización del entrenamiento con RFS ha resultado ser de utilidad para el tratamiento del LCA, Kilgas et al. 2019, observaron que el ERFS aumentó el tamaño del recto femoral y el vasto lateral, además de mejorar la fuerza de los extensores de rodilla. En adición, añadieron que la aplicación de la RFS era efectiva incluso realizando un entreno en casa (previamente habiendo aprendido su aplicación por parte de un clínico experimentado). De igual modo, Lambert et al. 2019, volvieron a corroborar la recuperación de la masa muscular tras la aplicación de la RFS, pero además, descubrieron que la aplicación de la RFS a la rehabilitación tuvo un efecto protector en el hueso. Por si fuera poco, Hughes et al. 2018, expusieron que el dolor muscular era mayor cuando se aplicaba la RFS con cargas livianas que con cargas pesadas sin la aplicación de la RFS y que el dolor de rodilla era menor utilizando la RFS con cargas livianas que sin la aplicación de la RFS con cargas pesadas.

En contraposición, Michael et al. 2019, postularon que el ERFS no mejoraba la función del cuádriceps aplicado con ejercicio de alta intensidad, lo que no es sorprendente, ya que el resto de estudios plantean un entrenamiento de baja intensidad.

## **c. Adaptaciones funcionales y moleculares con RFS**

El ERFS posee ciertas ventajas frente al entrenamiento habitual, Telfer et al. 2021, atisbaron un aumento de 2º en la rotación externa de la tibia y de 4º en la rotación interna de la cadera. También, observaron un descenso del 50% en los picos de torsión de la flexión y rotación de rodilla. Por otro lado, Kacin et al. 2021, concluyeron que la RFS mejora el pico de torsión a 60º y 120º y el trabajo total a 60º y 120º de los extensores de rodilla. También comprobaron que para los flexores de rodilla, el trabajo total fue mayor a 60º y 120º con el ERFS y que el área del cuádriceps aumentó significativamente. Además, los índices de fatiga del pico de torsión y el trabajo total fueron mayores para los extensores de rodilla a 60º y 120º. De igual modo, la RFS aumentó el factor A de crecimiento vascular endotelial y redujo la expresión del ARNm de la miostatina y su receptor del semitendinoso (activina tipo 2B). En línea con los autores anteriores, Ohta et al. 2003, expusieron como muchos otros el aumento del tamaño del cuádriceps tras el ERFS, pero además vieron un aumento de los diámetros de las fibras tipo I y II; y, Kacin et al. 2011, registraron un aumento de la capacidad de resistencia muscular, que se asoció con un mayor suministro de oxígeno al músculo. Por si no fuera suficiente, Takarada et al. 2004, vieron que la fuerza isométrica e isocinética en todas las velocidades examinadas aumentó. Además, la concentración plasmática de la hormona del crecimiento medida 15 minutos después de la sesión de ejercicio mostró un marcado aumento

#### **d. Regeneración muscular y entrenamiento de fuerza**

El entrenamiento de fuerza es un método muy utilizado por los fisioterapeutas para la rehabilitación de los pacientes puesto que como Vidmar et al. 2020, y otros muchos autores, se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza aumenta la masa muscular y la fuerza del cuádriceps. Este aumento de la fuerza y la masa muscular es de suma importancia, ya que Mendias et al. 2013, han observado un incremento de la miostatina, el factor de crecimiento transformador- $\beta$  (TGF- $\beta$ ) y los niveles de proteína c-reactiva (CRP) aumentaron tras la operación. También los niveles de proteína de la matriz oligomérica del cartílago (COMP) disminuyeron inmediatamente tras la intervención, traduciéndose todo ello en un aumento de potentes citoquinas inductoras de atrofia. En concordancia con los otros autores, Fry et al. 2018, también registraron que tras la operación de RLCA, el contenido de colágeno se elevó y hubo una mayor abundancia de fibroblastos y células progenitoras figrogénicas/adipogénicas (FAP) en la pierna lesionada. Además, se vio una disminución de células satélite, un aumento de la denervación fibrosa y daño del ADN.

Por ello, el entrenamiento de fuerza es tan importante en la rehabilitación del LCA y los expertos han estudiado en profundidad sobre ello, como Friedmann-Bette et al. 2018, que concluyeron que el entrenamiento concéntrico-excéntrico con sobrecarga de la excéntrica, producía mejoras más significativas en el tamaño del cuádriceps que el entrenamiento concéntrico-excéntrico. También observaron un incremento en el tamaño de todos los tipos de fibras y en la fuerza del cuádriceps, pero sin diferencias entre grupos. Por el contrario, Jakobsen et al. 2016, realizaron un entrenamiento pesado de resistencia durante 4 semanas a 15 sujetos previstos para una operación de RLCA y les tomaron muestras de la unión miotendinosa del semitendinoso y el gracilis para analizarlas. Descubrieron que el contenido del endomisio del colágeno XIV, macrófagos y tenascina-C aumentaron tras las 4 semanas de entrenamiento, demostrando el efecto protector contra las lesiones por estrés en esta región.

#### **e. Limitaciones**

Durante la presente revisión bibliográfica se encontraron algunas limitaciones a la hora de realizar la búsqueda. En algunos casos, las palabras clave no estaban bien enfocadas en los artículos y no era viable la utilización de los descriptores MeSH, habiendo de utilizar sinónimos a dichos descriptores. También, en uno de los artículos, la muestra para el estudio no fue representativa para su inclusión. Además, varios estudios no se pudieron conseguir debido a que el único modo posible para su obtención era mediante pago, por lo tanto fueron obviados.



## 10. CONCLUSIÓN

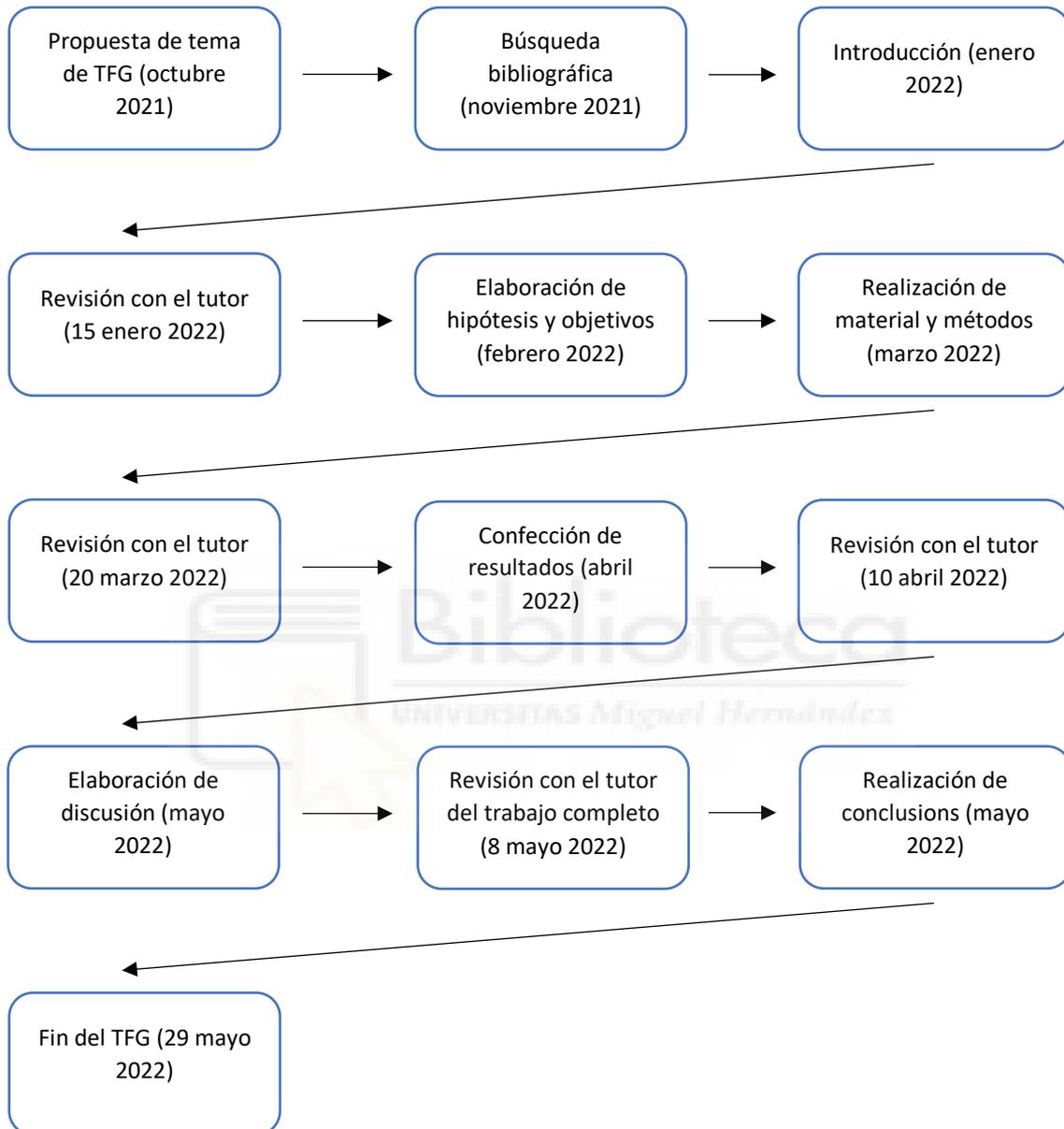
1. La EENM y la EC serían tratamientos idóneos para fases más tempranas post-intervención y, el ERFS y el EEI serían recomendables tras esta fase temprana, todos ellos combinados con ejercicios para MMII
2. El ERFS es una herramienta efectiva para el desarrollo de la hipertrofia y la fuerza muscular e incluso llega a reducir el dolor de rodilla y el derrame, por lo tanto es un tratamiento óptimo para la rehabilitación del LCA
3. El ERFS provoca mejoras del área transversal del cuádriceps y del pico de torsión de los extensores de rodilla (ER). También, provoca un descenso de la fatiga de los ER
4. El entrenamiento de fuerza genera un incremento en el tamaño del cuádriceps y en la fuerza. Además, con el entrenamiento aumentó el tamaño de todos los tipos de fibras





## 11. ANEXO DE FIGURAS Y TABLAS

### a. Figura 1. Cronograma, elaboración propia.





b. Figura 2. Autorización de la Oficina de Investigación Responsable (OIR).



INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)

Elche, a 07 de marzo del 2022

Nombre del tutor/a	Carlos Manuel Colmena Zaragoza
Nombre del alumno/a	Borja Camarasa González
Tipo de actividad	1. Revisión bibliográfica (no incluye revisión de historias clínicas ni ninguna fuente con datos personales)
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	Protocolo de rehabilitación para la reconstrucción de ligamento cruzado anterior
Código/s GIS estancias	
Evaluación Riesgos Laborales	No procede
Evaluación Ética	No procede
Registro provisional	220227190703
Código de Investigación Responsable	<b>TFG.GFI.CMCZ.BCG.220227</b>
Caducidad	2 años

Se considera que el presente proyecto carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Protocolo de rehabilitación para la reconstrucción de ligamento cruzado anterior** ha sido realizada de manera automática en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere someterse a dicha evaluación. Dicha información se adjunta en el presente informe. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, **se autoriza** la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos  
Secretario del CEII  
Vicerrectorado de Investigación

Domingo L. Orozco Beltrán  
Presidente del CEII  
Vicerrectorado de Investigación

Información adicional:

- En caso de que la presente actividad se desarrolle total o parcialmente en otras instituciones es responsabilidad del investigador principal solicitar cuantas autorizaciones sean pertinentes, de manera que se garantice, al menos, que los responsables de las mismas están informados.
- Le recordamos que durante la realización de este trabajo debe cumplir con las exigencias en materia de prevención de riesgos laborales. En concreto: las recogidas en el plan de prevención de la UMH y en las planificaciones preventivas de las unidades en las que se integra la investigación. Igualmente, debe promover la realización de reconocimientos médicos periódicos entre su personal; cumplir con los procedimientos sobre coordinación de actividades empresariales en el caso de que trabaje en el centro de trabajo de otra empresa o que personal de otra empresa se desplace a las instalaciones de la UMH; y atender a las obligaciones formativas del personal en materia de

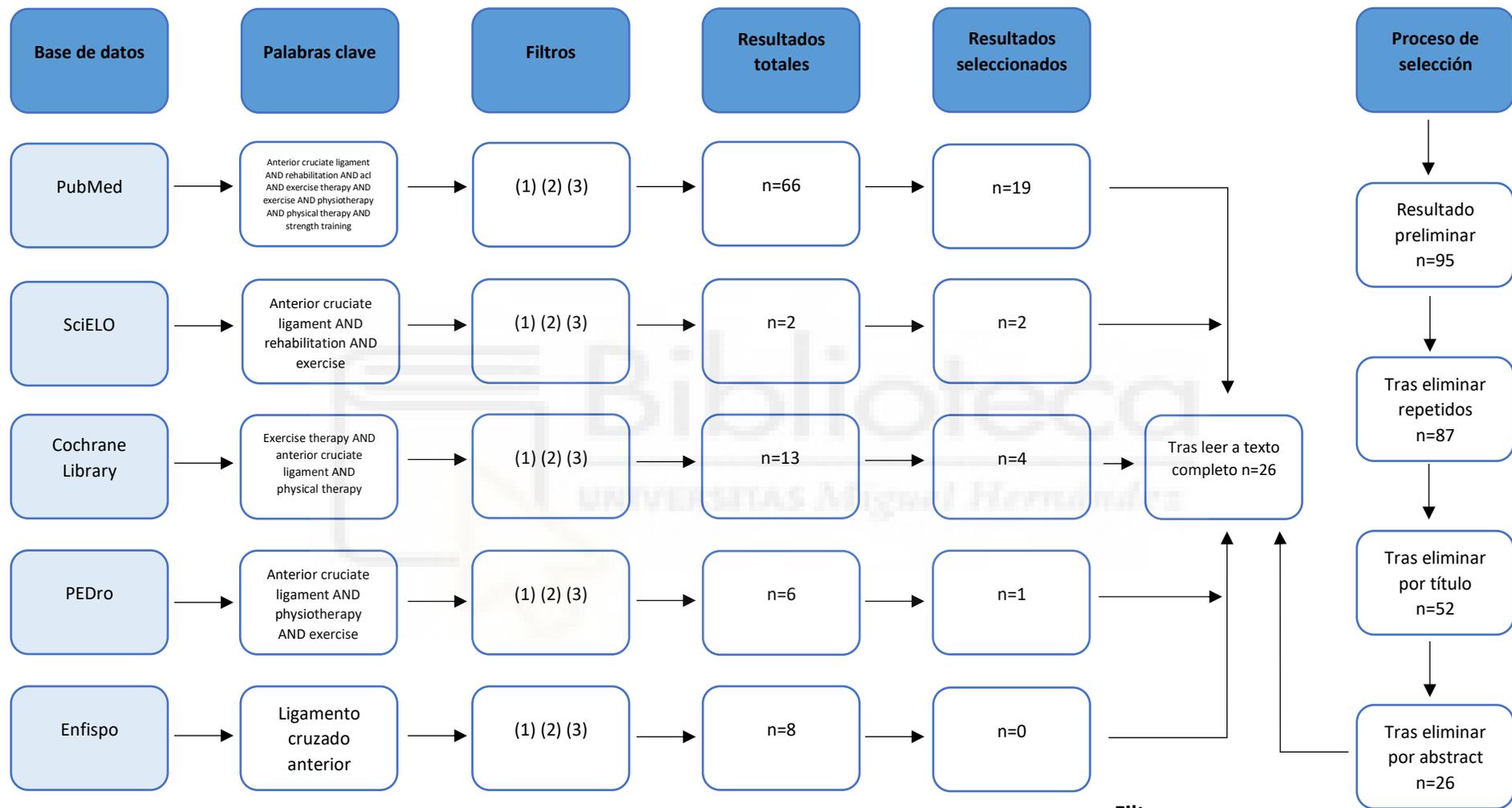
Página 1 de 2



prevención de riesgos laborales. Le indicamos que tiene a su disposición al Servicio de Prevención de la UMH para asesorarle en esta materia.

La información descriptiva básica del presente trabajo será incorporada al repositorio público de Trabajos fin de Grado y Trabajos Fin de Máster autorizados por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández en el curso académico 2020/2021. También se puede acceder a través de <https://oir.umh.es/tfg-tfm/>





**Filtros:**

**(1) Tiempo (2016 a 2022)**

**(2) Solo artículos gratuitos**

**(3) No revisiones sistemáticas ni meta-análisis**

**c. Figura 3. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica. Elaboración propia**



**d. Tabla 1. Calidad metodológica en los estudios con la escala PEDro.**

**Escala PEDro-Español**

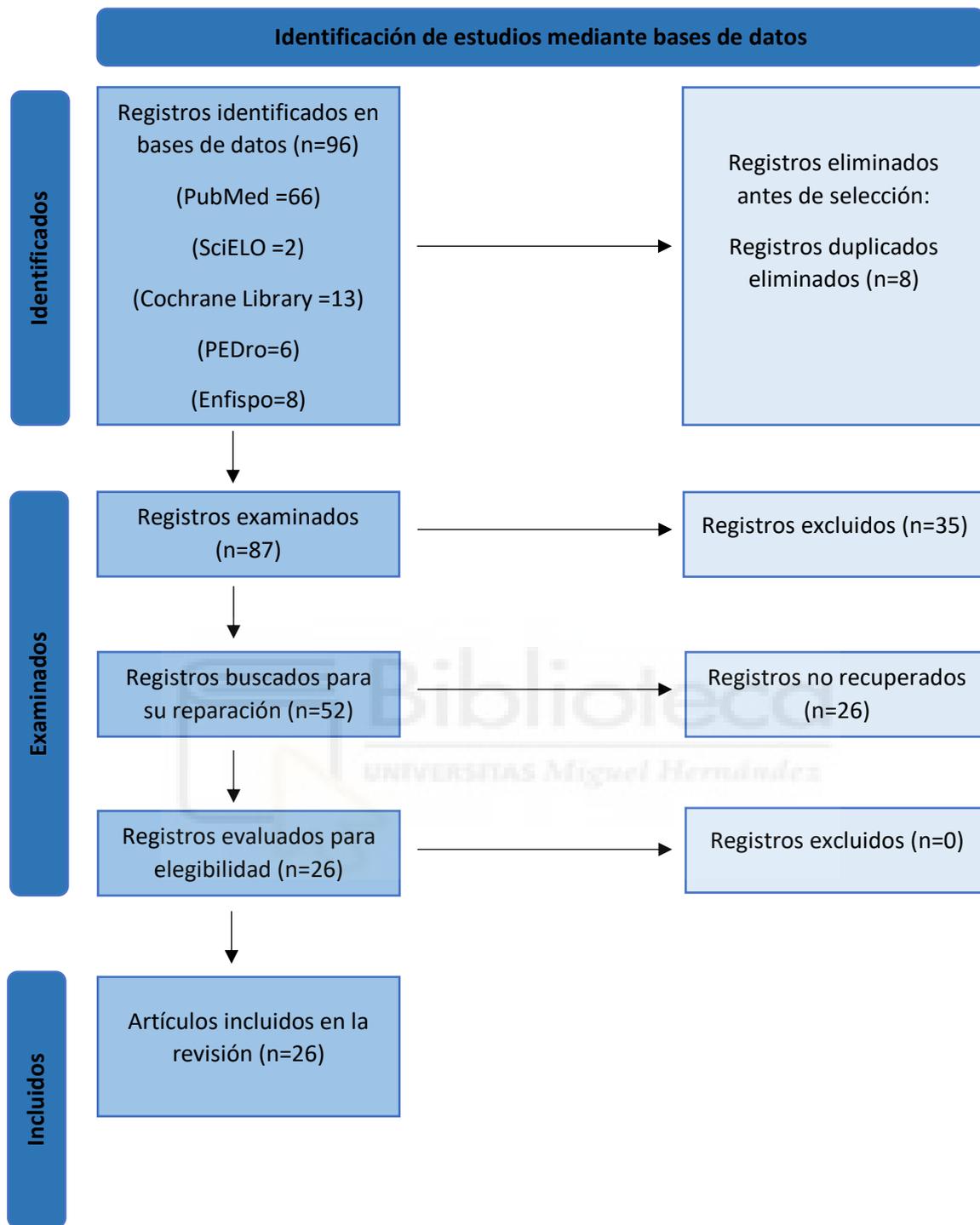
1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> 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:

Estudio/ítem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	T
Hughes L et al. 2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Kilgas MA et al. 2019	X			X				X	X	X	X	6
Friedmann-Bette B et al. 2018	X	X		X				X	X	X	X	7
Vidmar MF et al. 2020	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Curran MT et al. 2020	X	X		X				X	X	X	X	7
Telfer S et al. 2021	X			X				X	X	X	X	6
Harput G et al. 2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Arundale AJH et al. 2018	X	X	X	X			X	X	X	X	X	9
Labanca L et al. 2018	X	X		X				X	X	X	X	7
Hughes L et al. 2018	X			X				X	X	X	X	6
Arundale AJH et al. 2017	X	X	X	X			X	X	X	X	X	9
Welling W et al. 2019	X			X				X	X	X	X	6
Kacin A et al. 2021	X			X	X			X	X	X	X	7
Moksnes H et al. 2021	X							X	X	X	X	4
Zult T et al. 2018	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Nawasreh Z et al. 2018	X							X	X	X	X	4
Troy Blackburn J et al. 2021	X			X				X	X	X	X	6

Pamukoff DN et al. 2016	X			X				X	X	X	X	6
Nyland J et al. 2020	X								X	X	X	4
Li Q 2021	X			X				X	X	X	X	6
Chen A et al. 2021	X	X		X				X	X	X	X	7
Patterson BE et al. 2021	X	X	X	X	X			X	X	X	X	9
Da Costa KSA et al. 2019	X	X		X				X	X	X	X	7
Costantino C et al. 2018	X	X	X	X	X			X	X	X	X	9
Forogh B et al. 2019	X	X	X	X	X			X	X	X	X	9
Lambert B et al. 2019	X	X		X				X	X	X	X	7
<p>1. Especificación de los criterios de elegibilidad; 2. Asignación al azar; 3. Ocultación de la asignación; 4. Similitud pronóstica al inicio; 5. Ocultación de los sujetos; 6. Cegamiento del terapeuta; 7. Cegamiento del evaluador; 8. Seguimiento mayor al 85% de un resultado clave e informe de las estimaciones puntuales; 9. El análisis de resultados incluye un análisis de la “intención de tratar”; 10. Se muestran los resultados de las comparaciones estadísticas entre grupos al menos para una de las medidas; 11. Medidas de variabilidad de al menos un resultado clave; T= Puntuación Total; X: Cumple el ítem</p>												



e. Figura 4. Diagrama de flujo PRISMA Page MJ et al, 2020.





f. Tabla 2. Tabla de resultados. Elaboración propia.

Autor y año	Tamaño muestral		Tipo de intervención		Herramienta de medición	Intervención				Tipo de estudio
	GC	GI	GC	GI	Escalas u otros	Tiempo s (min)	Sesiones semanales	Sesiones totales	Periodo intervención	
Hughes L et al. 2019	14	14	HL-RT	BFR-RT	Leg press MED, isokinetic dynamometer, LOGIQ E ultrasound device, IKDC, KOOS, goniometer, tape measure, arthrometer	---	2	16	8 weeks	Randomized controlled trial
Kilgas MA et al. 2019	9	9	Exercise at home	BFR exercise at home	B-mode ultrasound, knee extension strength machine, symmetry index	25 min	5	20	4 weeks	Randomized controlled trial
Friedmann-Bette B et al. 2018	16	21	CON/ECC	CON/ECC+	Isokinetic dynamometer, MRI, muscle biopsy	---	2	24	12 weeks	Randomized controlled trial
Vidmar MF et al. 2020	15	15	CG	IG	MRI, isokinetic dynamometry, Lysholm score	---	2	12	6 weeks	Randomized controlled trial
Curran MT et al. 2020	0	8 8 9	---	Concentric  Eccentric	Dynamometer, electrodes, musculoskeletal	---	2	16	8 weeks	Randomized controlled trial

		9		BFRT Eccentric with BFRT	ultrasound, IKDC, SIB, CAR					
Telfer S et al. 2021	20	20	Step-up exercise protocol	BFR + step-up exercise protocol	IKDC, force plates, eight-camera Vicon system, retroreflective markers	---	---	1	---	Cross-sectional motion analysis study
Harput G et al. 2019	16	16 16	Rehabilitation program	Rehabilitation program + isokinetic concentric training Rehabilitation program + isokinetic eccentric training	IKDC, OLHDT, isokinetic dynamometer	---	3	24	8 weeks	Randomized controlled trial
Arundale AJH et al. 2018	40	39	SAP	SAP + PERT	KOS-ADLs, GR, IKDC, KOOS-Sport, KOOS-QoL, electromechanical dynamometer, single-leg hop test	---	2	10	5 weeks	Randomized controlled trial
Labanca L et al. 2018	17	16 17	NAT	NMES + STSTS STSTS	Dynamometer system unit, knee joint pain, force	---	5	30	6 weeks	Randomized controlled trial

					platforms, tape measures					
Hughes L et al. 2018	10	10 10	NI-BFR	ACLR-BFR  ACLR-HR	Spring-loaded leg press, RPE, RPP, blood pressure monitor					Between-subjects, partially-randomized
Arundale AJH et al. 2017	17	19	SAP	SAP + PERT	IKDC, KOOS-Sports, KOOS-Quality-of-life, electromechanical dynamometer, single-legged hop test	---	2	10	5 weeks	Single-blind randomized clinical study
Welling W et al. 2019	30	38	Strength training protocol	Strength training protocol	Isokinetic device, IKDC	---	2.6 ± 0.7	---	38-44 weeks	Between subjects design
Kacin A et al. 2021	6	6 6	Muscle biopsy analysis	LL-BFR  SHAM-BFR	Dynamometric system, MRI, muscle biopsies, Q-PCR	---	3	9	3 weeks	Prospective, single-center, single-blinded and quasi-randomized controlled trial
Moksnes H et al. 2021	0	43	---	BEAST tool	Modified stroke test, Lachman test, quadriceps power test, hop tests					Prospective cohort

Zult T et al. 2018	21	22	Standard rehabilitation	Standard rehabilitation + cross-education	Isokinetic dynamometer, CAR, twitch interpolation technique, one-leg standing balance test	---	---	4	2 years	Randomized controlled trial
Nawasreh Z et al. 2018	8	8	Manual perturbation training	Mechanical perturbation training	Functional testing, KOS-ADLS, GRS, IKDC 2000	---	---	10	---	Prospective cohort
Troy Blackburn J et al. 2021	0	24 (los 24 hacen de control y experimental )		WBV LMV Control intervention*	Dynamometer, EMG	---	---	3	---	Repeated-measures crossover design whereby a single volunteer cohort
Pamukoff DN et al. 2016	0	20 (los 20 hacen de control y experimental )		WBV LMV No vibration*	AMT, MEP, H-reflex amplitude, PT, RTD, EMG, CAR	---	---	3	---	Single-blind randomized crossover trial
Nyland J et al. 2020	0	150	---	Neuromuscular control, progressive resistance training and agility training program	KOS-SAS, anterior translation and pivot shift laxity tests	---	2	16	8 weeks	Prospective cohort

Li Q 2021	17	18	Isokinetic muscle training	Isokinetic muscle training	IsoMed 2000	---	3	24	8 weeks	Randomized controlled trial
Chen A et al. 2021	40	40	Simple routine rehabilitation guidance	Professional sports rehabilitation	MRI, dynamometer	---	---	---	12 weeks	Randomized controlled trial
Patterson BE et al. 2021	8	15	Trunk-focussed exercise-therapy intervention	Lower-limb focused exercise-therapy intervention	KOOS-QoL, ACL-QoL, KOOS-Pain, KOOS-Symptoms, KOOS-Sport, functional performance tests	30 min	---	8	16 weeks	Pilot randomized controlled trial
Da Costa KSA et al. 2019	22	22	Exercise	Exercise + WBV	Biodex dynamometer, electromyographic signal, computerized baropodometer	---	---	1	---	Blinded randomized controlled trial
Costantino C et al. 2018	19	19	Exercise	Exercise + WBV	Biodex dynamometer	---	3	24	8 weeks	Randomized controlled trial
Forogh B et al. 2019	35	35	Semi-supervised exercise	Semi-supervised exercise + TENS	VAS, IKDC, ROM	35 min	5	20	4 weeks	Randomized single-blind clinical trial
Lambert B et al. 2019	7	7	Rehabilitation protocol	Rehabilitation protocol + BFR	DEXA	---	2	24	12 weeks	Randomized controlled trial



## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Cooper AD, Khoury MA. Ligamento cruzado anterior. Revista de Artroscopia. 1996; vol. 3: nº 7. <https://www.revistaartroscopia.com/ediciones-antteriores/51-volumen-05-numero-1/volumen-3-numero-7/310-ligamento-cruzado-anterior>
2. Valderrama AIT, Granados JJR, Alvarado CR, Barrera BM, Contreras EHF, Uriarte KR, Arauz GP. Lesión del ligamento cruzado anterior. Medigraphic. 2017 Dic;13(4). <https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2017/ot174b.pdf>
3. Bautista R, Carrillo A, Franco A, Gonzalez A, Martínez C, Moreno I, Nieves J. Tratamientos de terapia física en la lesión del ligamento cruzado anterior: etapa post-cirugía. eFisioterapia.net. 2016 Dic. <https://www.efisioterapia.net/articulos/tratamiento-terapia-fisica-lesion-ligamento-cruzado-anterior-etapa-post-quirurgica>
4. Hughes L, Rosenblatt B, Haddad F, Gissane C, McCarthy D, Clarke T, Ferris G, Dawes J, Paton B, Patterson SD. Comparing the Effectiveness of Blood Flow Restriction and Traditional Heavy Load Resistance Training in the Post-Surgery Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Patients: A UK National Health Service Randomised Controlled Trial. Sports Med. 2019 Nov;49(11):1787-1805. doi: 10.1007/s40279-019-01137-2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31301034/>
5. 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 Sep;40(10):650-656. doi: 10.1055/a-0961-1434. Epub 2019 Jul 23. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31342480/>
6. Friedmann-Bette B, Profit F, Gwechenberger T, Weiberg N, Parstorfer M, Weber MA, Streich N, Barié A. Strength Training Effects on Muscular Regeneration after ACL Reconstruction. Med Sci Sports Exerc. 2018 Jun;50(6):1152-1161. doi: 10.1249/MSS.0000000000001564. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29389836/>
7. Vidmar MF, Baroni BM, Michelin AF, Mezzomo M, Lugokenski R, Pimentel GL, Silva MF. Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. Braz J Phys Ther. 2020 Sep-Oct;24(5):424-432. doi: 10.1016/j.bjpt.2019.07.003. Epub 2019 Jul 16. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31351901/>

8. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017 Jul;51(13):1003-1011. doi: 10.1136/bjsports-2016-097071. Epub 2017 Mar 4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28259850/>
9. Guerrero A. Rotura del ligamento cruzado anterior. Tratamiento y rehabilitación [Internet]. *Rehabilitación Premium Madrid.* 2018 Oct [citado 11 de abril de 2022]. Disponible en: <https://rehabilitacionpremiummadrid.com/blog/alvaro-guerrero/rotura-del-ligamento-cruzado-anterior-tratamiento-y-rehabilitacion/>
10. Labanca L, Rocchi JE, Laudani L, Guitaldi R, Virgulti A, Mariani PP, Macaluso A. Neuromuscular Electrical Stimulation Superimposed on Movement Early after ACL Surgery. *Med Sci Sports Exerc.* 2018 Mar;50(3):407-416. doi: 10.1249/MSS.0000000000001462. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29059108/>
11. Harput G, Ulusoy B, Yildiz TI, Demirci S, Eraslan L, Turhan E, Tunay VB. Cross-education improves quadriceps strength recovery after ACL reconstruction: a randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019 Jan;27(1):68-75. doi: 10.1007/s00167-018-5040-1. Epub 2018 Jun 29. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29959448/>
12. Kacin A, Drobnič M, Marš T, Miš K, Petrič M, Weber D, Tomc Žargi T, Martinčič D, Pirkmajer S. Functional and molecular adaptations of quadriceps and hamstring muscles to blood flow restricted training in patients with ACL rupture. *Scand J Med Sci Sports.* 2021 Aug;31(8):1636-1646. doi: 10.1111/sms.13968. Epub 2021 Apr 26. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33837592/>
13. Andrade R, Pereira R, van Cingel R, Staal JB, Espregueira-Mendes J. How should clinicians rehabilitate patients after ACL reconstruction? A systematic review of clinical practice guidelines (CPGs) with a focus on quality appraisal (AGREE II). *Br J Sports Med.* 2020 May;54(9):512-519. doi: 10.1136/bjsports-2018-100310. Epub 2019 Jun 7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31175108/>
14. Lipker LA, Persinger CR, Michalko BS, Durall CJ. Blood Flow Restriction Therapy Versus Standard Care for Reducing Quadriceps Atrophy After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2019 Nov 1;28(8):897-901. doi: 10.1123/jsr.2018-0062. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30300054/>
15. Barber-Westin S, Noyes FR. Blood Flow-Restricted Training for Lower Extremity Muscle Weakness due to Knee Pathology: A Systematic Review. *Sports Health.* 2019 Jan/Feb;11(1):69-83. doi: 10.1177/1941738118811337. Epub 2018 Nov 26. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30475660/>

16. 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. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32167837/>
17. Telfer S, Calhoun J, Bigham JJ, Mand S, Gellert JM, Hagen MS, Kweon CY, Gee AO. Biomechanical Effects of Blood Flow Restriction Training after ACL Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 2021 Jan;53(1):115-123. doi: 10.1249/MSS.0000000000002437. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32694365/>
18. Arundale AJH, Capin JJ, Zarzycki R, Smith A, Snyder-Mackler L. Functional and Patient-Reported Outcomes Improve Over the Course of Rehabilitation: A Secondary Analysis of the ACL-SPORTS Trial. *Sports Health.* 2018 Sep/Oct;10(5):441-452. doi: 10.1177/1941738118779023. Epub 2018 Jun 20. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29924719/>
19. 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.* 2018 Sep;33:54-61. doi: 10.1016/j.ptsp.2018.07.002. Epub 2018 Jul 10. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30014968/>
20. Arundale AJH, Cummer K, Capin JJ, Zarzycki R, Snyder-Mackler L. Report of the Clinical and Functional Primary Outcomes in Men of the ACL-SPORTS Trial: Similar Outcomes in Men Receiving Secondary Prevention With and Without Perturbation Training 1 and 2 Years After ACL Reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 2017 Oct;475(10):2523-2534. doi: 10.1007/s11999-017-5280-2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28224443/>
21. Conley CEW, Mattacola CG, Jochimsen KN, Dressler EV, Lattermann C, Howard JS. A Comparison of Neuromuscular Electrical Stimulation Parameters for Postoperative Quadriceps Strength in Patients After Knee Surgery: A Systematic Review. *Sports Health.* 2021 Mar;13(2):116-127. doi: 10.1177/1941738120964817. Epub 2021 Jan 11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33428557/>
22. Welling W, Benjaminse A, Lemmink K, Dingenen B, Gokeler A. Progressive strength training restores quadriceps and hamstring muscle strength within 7 months after ACL reconstruction in amateur male soccer players. *Phys Ther*

- Sport. 2019 Nov;40:10-18. doi: 10.1016/j.ptsp.2019.08.004. Epub 2019 Aug 9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31425918/>
23. Moksnes H, Ardern CL, Kvist J, Engebretsen L, Risberg MA, Myklebust G, Grindem H. Assessing implementation, limited efficacy, and acceptability of the BEAST tool: A rehabilitation and return-to-sport decision tool for nonprofessional athletes with anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport*. 2021 Nov;52:147-154. doi: 10.1016/j.ptsp.2021.08.011. Epub 2021 Aug 28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34492443/>
24. Zult T, Gokeler A, van Raay JJAM, Brouwer RW, Zijdewind I, Farthing JP, Hortobágyi T. Cross-education does not accelerate the rehabilitation of neuromuscular functions after ACL reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *Eur J Appl Physiol*. 2018 Aug;118(8):1609-1623. doi: 10.1007/s00421-018-3892-1. Epub 2018 May 23. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29796857/>
25. Nawasreh Z, Logerstedt D, Failla M, Snyder-Mackler L. No difference between mechanical perturbation training with compliant surface and manual perturbation training on knee functional performance after ACL rupture. *J Orthop Res*. 2018 May;36(5):1391-1397. doi: 10.1002/jor.23784. Epub 2017 Nov 28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29077216/>
26. Troy Blackburn J, Dewig DR, Johnston CD. Time course of the effects of vibration on quadriceps function in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol*. 2021 Feb;56:102508. doi: 10.1016/j.jelekin.2020.102508. Epub 2020 Nov 28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33302006/>
27. Pamukoff DN, Pietrosimone B, Lewek MD, Ryan ED, Weinhold PS, Lee DR, Blackburn JT. Whole-Body and Local Muscle Vibration Immediately Improve Quadriceps Function in Individuals With Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil*. 2016 Jul;97(7):1121-9. doi: 10.1016/j.apmr.2016.01.021. Epub 2016 Feb 8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26869286/>
28. Nyland J, Greene J, Carter S, Brey J, Krupp R, Caborn D. Return to sports bridge program improves outcomes, decreases ipsilateral knee re-injury and contralateral knee injury rates post-ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020 Nov;28(11):3676-3685. doi: 10.1007/s00167-020-06162-7. Epub 2020 Jul 22. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32699921/>
29. Li, Qiang. Rehabilitation of neuromuscular function by physical exercise. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2021, v. 27, n. 3, pp. 291-294. doi:

- 10.1590/1517-8692202127032021\_0082. Epub 23 July 2021.  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-86922021000300291&lang=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922021000300291&lang=es)
30. Chen, Aona et al. Sports mechanics rehabilitation effects on knee and muscle. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 2021, v. 27, n. 8, pp. 807-809. doi: 10.1590/1517-8692202127082021\_0364. Epub 29 Nov 2021.  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-86922021001000807&lang=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922021001000807&lang=es)
31. Patterson BE, Barton CJ, Culvenor AG, Cooper RL, Crossley KM. Exercise-therapy and education for individuals one year after anterior cruciate ligament reconstruction: a pilot randomised controlled trial. BMC Musculoskelet Disord. 2021 Jan 11;22(1):64. doi: 10.1186/s12891-020-03919-6.  
<https://search.pedro.org.au/search-results/record-detail/63629>
32. da Costa KSA, Borges DT, de Brito Macedo L, de Almeida Lins CA, Brasileiro JS. Whole-Body Vibration on Performance of Quadriceps After ACL Reconstruction: A Blinded Randomized Controlled Trial. J Sport Rehabil. 2019 Jan 1;28(1):52-58. doi: 10.1123/jsr.2017-0063. Epub 2018 Oct 1.  
<https://www.cochranelibrary.com/es/central/doi/10.1002/central/CN-01704364/full>
33. Costantino C, Bertuletti S, Romiti D. Efficacy of Whole-Body Vibration Board Training on Strength in Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Randomized Controlled Study. Clin J Sport Med. 2018 Jul;28(4):339-349. doi: 10.1097/JSM.0000000000000466.  
<https://www.cochranelibrary.com/es/central/doi/10.1002/central/CN-01708625/full>
34. Forogh B, Aslanpour H, Fallah E, Babaei-Ghazani A, Ebadi S. Adding high-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation to the first phase of post anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation does not improve pain and function in young male athletes more than exercise alone: a randomized single-blind clinical trial. Disabil Rehabil. 2019 Mar;41(5):514-522. doi: 10.1080/09638288.2017.1399294. Epub 2017 Nov 9.  
<https://www.cochranelibrary.com/es/central/doi/10.1002/central/CN-01916258/full>
35. Lambert B, Hedt CA, Jack RA, et al. Blood Flow Restriction Therapy Preserves Whole Limb Bone and Muscle Following ACL Reconstruction. Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2019 March;7(3). doi:10.1177/2325967119S00196.  
<https://www.cochranelibrary.com/es/central/doi/10.1002/central/CN-01939793/full>

36. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2021 Sep;74(9):790-799. English, Spanish. doi: 10.1016/j.rec.2021.07.010. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33782057/>

