

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**TRABAJO FIN DE GRADO EN FISIOTERAPIA**



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

**PROTOCOLOS DE FORTALECIMIENTO POSTCIRUGÍA  
DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.  
UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

Autor: Marina Santos Marco

Nº expediente: 2260

Tutor: Damián Roberto Martínez St John

Cotutor: Manolo Bonete Sánchez

Departamento: Patología y Cirugía. Área de Fisioterapia

Curso académico 2020 – 2021

Convocatoria de JUNIO



## ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	1
<b>1.1. Abstract</b> .....	2
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>3. OBJETIVO/S</b> .....	5
<b>3.1. Objetivos secundarios</b> .....	5
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	6
<b>4.1. Búsqueda</b> .....	6
<b>4.2. Protocolo de búsqueda</b> .....	6
<b>4.3. Criterios de selección</b> .....	7
<b>4.4. Selección de artículos</b> .....	8
<b>4.5. Evaluación de la calidad de los estudios incluidos</b> .....	8
<b>5. RESULTADOS</b> .....	9
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	11
<b>7. LIMITACIONES Y SESGOS</b> .....	14
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	15
<b>9. ANEXOS</b> .....	16
<b>9.1. Anexo I. Diagrama de flujo</b> .....	16
<b>9.2. Anexo II. Escala PEDro</b> .....	17
<b>9.3. Anexo III. Tabla de resultados</b> .....	18
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	22

## 1. RESUMEN

**Introducción.** En Estados Unidos ocurren cada año más de 120.000 lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA). El 80% de las patologías de rodilla que requieren cirugía implican a esta estructura. Una de las secuelas más importantes es la debilidad muscular. El 64.9% de los pacientes presentan un índice de simetría entre miembros inferiores mayor del 90% pasados entre seis y doce meses.

**Objetivos.** El principal objetivo es revisar la bibliografía sobre los protocolos de fortalecimiento tras la reconstrucción del LCA. Además, se pretende proponer el más adecuado para incrementar la fuerza y garantizar la seguridad de la plastia.

**Material y métodos.** Se ha realizado una búsqueda bibliográfica sobre el tema, resultando una muestra total de 472 pacientes pertenecientes a 10 ensayos clínicos aleatorizados.

**Resultados.** Los ensayos aportan información sobre las distintas variables del programa de rehabilitación. Uno de los protocolos se propone como el más apropiado para restaurar la fuerza sin aumentar la laxitud, al encontrarse respaldado por la bibliografía científica actual.

**Conclusiones.** Se ha realizado una actualización de los protocolos, resultando todos ellos seguros para la plastia. Según la evidencia, se determina que el de Fukuda *TY* y colaboradores es el más adecuado para conseguir los objetivos de fuerza y seguridad. Sin embargo, se requiere establecer un mayor consenso respecto la programación del ejercicio tras la reconstrucción del LCA. La revisión cuenta con una media de buena calidad (7.2) en la escala PEDro.

**PALABRAS CLAVE:** “reconstrucción del ligamento cruzado anterior”, “terapia por ejercicio”, “entrenamiento de resistencia”, “fuerza muscular”.

## 1.1. Abstract

**Introduction.** In the United States, more than 120,000 anterior cruciate ligament (ACL) injuries occur each year. 80% of knee pathologies that require surgery involve this structure. One of the most important sequelae is muscle weakness. After six to twelve months, 64.9% of patients have a lower limb symmetry index greater than 90%.

**Purpose.** The main objective is to review the literature on strengthening protocols after ACL reconstruction. In addition, the aim is to propose the most appropriate one to increase strength and guarantee the safety of the graft.

**Material and methods.** A literature search on the subject was carried out, resulting in a total sample of 472 patients belonging to 10 randomized clinical trials.

**Results.** The trials provide information on the different variables of the rehabilitation program. One of the protocols is proposed as the most appropriate to restore strength without increasing laxity as it is supported by the current scientific literature.

**Conclusions.** An update of the protocols has been performed and all have been found to be safe for the graft. According to the evidence, the protocol of *Fukuda TY* and collaborators is the most adequate to achieve the objectives of strength and safety. However, more consensus needs to be established regarding exercise programming after ACL reconstruction. The review has a mean of good quality (7.2) on the PEDro scale.

**KEY WORDS:** “anterior cruciate ligament reconstruction”, “exercise therapy”, “resistance training”, “muscle strength”.

## 2. INTRODUCCIÓN

La rodilla es un complejo anatómico formado por la articulación femorotibial y femoropatelar, que tiene como función la transmisión del peso corporal a los miembros inferiores. Las numerosas estructuras que conforman la articulación proporcionan estabilidad en el plano sagital permitiendo cierto grado de rotación tibial. (*Flandry F et al., 2011*).

El LCA, se origina en la cara posteromedial del cóndilo lateral del fémur y se inserta anteriormente entre los tubérculos intercondíleos tibiales. Está formado por dos haces que se nombran según su inserción en la tibia. (*Giuliani JR et al., 2009*). El haz anteromedial se tensa cuándo existen más de 60° de flexión y el haz posterolateral aumenta su tensión cuándo la rodilla va hacia la extensión. (*Gabriel MT et al., 2004*).

La principal función del LCA es limitar la traslación anterior tibial, guiar el movimiento de rotación durante la extensión de rodilla y evitar el desplazamiento axial de la tibia sobre el fémur. (*Flandry F et al., 2011*). Se trata de una estructura intraarticular y extrasinovial compuesta por fibras de colágeno tipo I que se encuentran irrigadas principalmente por la arteria genicular media. (*Giuliani JR et al., 2009*).

El LCA contiene una serie de mecanorreceptores, como son los corpúsculos de Ruffini y de Paccini, los órganos tendinosos de Golgi y las terminaciones nerviosas libres. Estas estructuras están inervadas por el nervio tibial posterior que es el mayor responsable de la propiocepción. (*Georgoulis AD et al., 2001*).

La estabilidad de la rodilla viene dada por una serie de elementos dinámicos y estáticos que permiten la funcionalidad de la articulación. La estabilidad dinámica, la proporciona principalmente el cuádriceps, que tiene como función primaria la deceleración durante la marcha. La musculatura anterior del muslo actúa como antagonista dinámica del LCA y puede reducir el desplazamiento posterior de la tibia en caso de rotura del ligamento cruzado posterior (LCP). Por otro lado, los isquiosurales funcionan como antagonistas del LCP, reduciendo la subluxación anterior de la tibia. En cuanto a la estabilidad estática, se obtiene gracias a la interacción tanto de ligamentos tibiofemorales, meniscos, estructura de las superficies articulares y las cargas aplicadas sobre las mismas. (*Flandry F et al., 2011*).

El mecanismo de lesión más común sin contacto ocurre por el aterrizaje tras un salto con la rodilla en extensión y rotación interna de tibia, lo que provoca un valgo forzado al permanecer el pie estático en el suelo. (Kaeding CC et al., 2017). Además, existen factores de riesgo relacionados con la biomecánica y con el control neuromuscular. Una activación de la musculatura adecuada puede contener el valgo y el varo dinámico, que aumentan la carga en el ligamento especialmente entre los 0° y 40° de flexión de rodilla. (Siegel L et al., 2012).

Se estima que cada año ocurren en Estados Unidos más de 120.000 lesiones de LCA, con un pico de incidencia en individuos menores de 20 años. (Mall NA et al., 2014). Respecto al impacto económico de la patología, se calcula que el tratamiento tras la cirugía de este ligamento asciende de media a unos 1100\$ y a unos 900\$ si no requiere intervención quirúrgica. (Gianotti SM et al., 2009). El coste anual de las lesiones de LCA al sistema sanitario en Estados Unidos se calcula que supone alrededor de un billón de dólares. (Kaeding CC et al., 2017).

El ratio por cada 1000 exposiciones a la lesión de LCA es más de el doble en mujeres futbolistas (0.31) que en hombres (0.13). (Arendt E et al., 1995). Factores intrínsecos como son la grasa corporal, la fuerza de cuádriceps e isquiosurales y el tamaño del ligamento, influyen en el riesgo de lesión. (Anderson AF et al., 2001). Esta patología cobra especial importancia, ya que de las lesiones de rodilla que requieren cirugía, el 80% implican al LCA. (Gianotti SM et al., 2009).

El 29.5% de los pacientes vuelven a lesionarse en un periodo de 24 meses tras la vuelta al deporte (Paterno MV et al., 2014). Por lo tanto, se trata de una lesión de gran impacto no solo por el daño del ligamento, sino por los efectos negativos que implica a largo plazo sobre la salud, como son el dolor crónico, la artrosis y la pérdida de función. (Fleming BC et al., 2005).

Una de las secuelas más relevantes, es la debilidad y pérdida de volumen muscular del cuádriceps, que puede alterar los patrones de movimiento, disminuir la funcionalidad y aumentar el riesgo de volver a lesionarse. (Birchmeier T et al., 2020).

Los déficits de fuerza isocinética de la musculatura tras la reconstrucción están relacionados con la zona de extracción del injerto, que comúnmente se obtiene del tendón rotuliano o de los isquiosurales. Los pacientes intervenidos mediante la primera técnica presentan más debilidad

extensora al compararlo con la intervención mediante injerto del tendón de los isquiosurales. (*Xergia SA et al., 2011*).

El 64.9% de los pacientes, entre seis y doce meses tras la operación, presentan un índice de simetría para la fuerza extensora menor del 90% debido a una falta de calidad en la rehabilitación y en los criterios de vuelta al deporte. (*Ebert JR et al., 2018*).

La debilidad de cuádriceps e isquiosurales persiste a pesar de retomar la actividad deportiva tras la intervención quirúrgica. Esta musculatura, actúa directamente sobre la estabilidad dinámica de la rodilla, por lo que se requieren estrategias precisas y efectivas para recuperar los parámetros de fuerza. (*Thomas AC et al., 2013*)

### **3. OBJETIVO/S**

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es actualizar los protocolos de rehabilitación para el fortalecimiento de la musculatura estabilizadora de la rodilla, tras la intervención quirúrgica del LCA, con la finalidad de tratar las disfunciones y secuelas de la forma más adecuada.

#### **3.1. Objetivos secundarios**

Determinar el protocolo más apropiado tras la reconstrucción del ligamento describiendo sus principales características y variables.

Además, se pretende conocer la seguridad de los métodos utilizados en términos de laxitud articular, para introducir ejercicios que no afecten a la plastia según la fase de rehabilitación en la que se encuentre el paciente.

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

Esta revisión ha sido aprobada por el comité ético, generando el siguiente Código de Investigación Responsable (COIR): TFG.GFI.DRMSJ.MSM.201229.

### **4.1. Búsqueda**

La revisión bibliográfica se ha realizado a través de dos bases de datos electrónicas, Pubmed y EMBASE, estableciendo una fórmula concreta en cada una de ellas. La estrategia de búsqueda combina las palabras clave y los operadores booleanos “AND” y “OR” para obtener el mayor número de artículos relevantes que ofrezcan respuesta a los objetivos de la revisión. La selección de los artículos se ha llevado a cabo hasta el día 16 de febrero de 2021.

### **4.2. Protocolo de búsqueda**

- **Pubmed**

En la primera búsqueda, combinamos los MeSH “Anterior Cruciate Ligament Reconstruction”, “Exercise Therapy”, “Resistance Training” y “Muscle strength”. El MeSH “Anterior Cruciate Ligament Reconstruction” se estableció como tema principal (“major topic”). Además, se incluyeron sinónimos de algunos de los MeSH mencionados unidos mediante “OR” para detectar aquellos artículos que incluyesen dichos términos en el título o en el resumen resultando la siguiente fórmula:

(“Anterior Cruciate Ligament Reconstruction” [MeSH Major Topic] AND ((“Exercise Therapy”[MeSH Terms] OR “Rehabilitation Exercises”[Title/Abstract]) OR (“Resistance Training”[MeSH Terms] OR “Training, Resistance”[Title/Abstract]))) AND “muscle strength”[MeSH Terms]

Los filtros aplicados fueron ensayos clínicos aleatorizados, publicaciones de los últimos 10 años en inglés y estudios en humanos adultos mayores de 19 años. Se obtiene un total de 40 artículos que, al utilizar los filtros anteriormente mencionados, se reducen a 15 estudios.

- **EMBASE**

En la base de datos EMBASE se combinan las palabras clave 'anterior cruciate ligament reconstruction', 'kinesiotherapy', 'resistance training' y 'muscle strength' añadiendo sinónimos de la misma forma que se procede en la búsqueda de Pubmed. Los filtros empleados en este caso fueron artículos como tipo de estudio, ensayos clínicos aleatorizados, publicaciones de los últimos 10 años y sujetos adultos. Se obtienen 302 resultados y tras aplicar los filtros, finalmente son 24 artículos los que resultan de la siguiente fórmula:

('anterior cruciate ligament reconstruction'/exp OR 'anterior cruciate ligament reconstruction':ti,ab OR 'acl reconstruction':ti,ab) AND ('kinesiotherapy'/exp OR 'resistance training'/exp) AND ('muscle strength'/exp OR 'muscle':ti,ab) AND (2011:py OR 2012:py OR 2013:py OR 2014:py OR 2015:py OR 2016:py OR 2017:py OR 2018:py OR 2019:py OR 2020:py OR 2021:py) AND ('randomized controlled trial'/de) AND 'article'/it AND [adult]/lim

### **4.3. Criterios de selección**

#### **Criterios de inclusión:**

- Estudios sobre métodos de ejercicio terapéutico para el fortalecimiento muscular tras la reconstrucción quirúrgica del LCA.
- Ensayos clínicos aleatorizados.
- Artículos en inglés.
- Estudios en humanos.
- Sujetos adultos.
- Publicaciones de los últimos 10 años.

#### **Criterios de exclusión:**

- Ensayos que estudien el trabajo de la musculatura mediante métodos de intervención no relacionados con el ejercicio físico.
- Ensayos que no tengan como objetivo la ganancia de fuerza muscular.
- Trabajos con sujetos no intervenidos para la reconstrucción del LCA.
- Ensayos con sujetos con lesiones asociadas a la rotura del LCA.
- Trabajos que no sean ensayos clínicos aleatorizados.
- Artículos duplicados.

#### **4.4. Selección de artículos**

Para la selección de los artículos que conforman la revisión, en primer lugar, se realizó una búsqueda en dos bases de datos mediante la combinación de las palabras clave previamente mencionadas. Se descartaron artículos por duplicado al encontrarse en ambas bases de datos. Tras la lectura de los títulos y resúmenes, se eliminaron aquellos que no estaban relacionados con el tema de la revisión. A continuación, se procedió a la lectura completa de los documentos restantes para eliminar los que no se adaptaban a los criterios de inclusión y exclusión. Por otro lado, se ha revisado la bibliografía publicada antes del año 2011, accediendo a un trabajo de 2010, que destaca por sus características y su calidad metodológica. Tras su lectura detallada, se considera que este documento aporta información suficientemente valiosa para formar parte de la revisión. Por último, se analizan los diez estudios finales para obtener conclusiones y responder a los objetivos planteados. *(Anexo I. Diagrama de flujo)*

#### **4.5. Evaluación de la calidad de los estudios**

Se ha evaluado la calidad de la metodología de los artículos incluidos en esta revisión mediante la escala Physiotherapy Evidence Database *(Anexo II. Escala PEDro)*.

## 5. RESULTADOS

Una vez aplicados los filtros a cada una de las búsquedas, así como los criterios de inclusión y exclusión, obtenemos un total de 39 artículos. Posteriormente, se eliminan 13 por encontrarse duplicados. A continuación, de los 26 documentos restantes, se excluyen nueve por título y cinco por resumen, quedando un total de 12 estudios. Finalmente, tras proceder a su lectura, se llega a la conclusión de que tres de ellos no cumplen ciertos requisitos para su inclusión. (*Anexo I. Diagrama de flujo*)

En total se han incluido nueve investigaciones publicadas desde el año 2011 hasta el 2020. Sin embargo, la revisión cuenta con un total de 10 artículos, ya que tras la lectura del trabajo de *Sekir U* y colaboradores, publicado en 2010, se considera apto para ser incluido por su relevancia y calidad metodológica.

De forma resumida, en el *Anexo III* se aportan datos sobre el tipo de estudio, la población, el tamaño de la muestra, la duración e inicio de los tratamientos, los protocolos, las variables e instrumentos de medida, la estadística y los resultados de cada estudio. De este modo, se elabora una comparación de todos los documentos seleccionados para la revisión. (*Anexo III. Tabla de resultados*)

El 100% de los estudios incluidos son ensayos clínicos aleatorizados. El 50% de los trabajos se desarrolla con pacientes deportistas, en el otro 50% no se especifica el nivel de actividad de los sujetos. El 30% de los artículos solo incluye varones en su intervención, el resto de la muestra está compuesta tanto por hombres como por mujeres. Las edades de los sujetos oscilan entre los 13 y 54 años, siendo un total de 472 participantes los que forman parte de la revisión. Todos ellos son tratados mediante ejercicio terapéutico y se encuentran intervenidos quirúrgicamente sin lesiones asociadas.

Dentro de los métodos de entrenamiento descritos para la rehabilitación tras esta patología, destacamos que tres artículos (*Arundale AJH et al., 2018, Capin J.J et al., 2018, Arundale AJH et al., 2017*) comparan un grupo que realiza un protocolo de fuerza, agilidad y saltos (ACL-SPORTS) con otro que además añade ejercicios de perturbación. No se detectan

diferencias significativas entre ellos, pero sí se encuentran mejoras en la fuerza de los sujetos independientemente del tipo de tratamiento.

Por otro lado, un ensayo interviene en uno de los grupos mediante entrenamiento de alta intensidad (*Bieler T et al., 2014*), otro estudio emplea ejercicios isocinéticos excéntricos (*Vidmar M.F et al., 2020*) y los comparan con protocolos de baja intensidad y excéntricos convencionales, respectivamente. En los estudios, también se analizan los resultados referentes a la fuerza, en individuos que realizan entrenamientos con restricción del flujo sanguíneo (BFRT) y se compara con el ejercicio de alta intensidad (*Hughes L et al., 2019*). Por otro lado, se evalúan protocolos acelerados y no acelerados de 19 y 32 semanas, respectivamente. (*Beynnon BD et al., 2011*).

Cada estudio aplica el tratamiento en diferentes momentos tras la cirugía y tienen distinta duración. En total se cuenta con 20 grupos, de los cuales el 20% comienza entre la primera y la segunda semana postquirúrgica, el 10% a las 3-4 y otro 20% se inicia pasadas entre seis y ocho semanas. La mitad restante de los grupos interviene a partir del tercer y cuarto mes tras la reconstrucción del LCA y se administran durante una media de 11 semanas.

Todos los artículos aportan una descripción de las variables de cada protocolo de entrenamiento como son la frecuencia, intensidad, series, repeticiones y tipo de ejercicio según el momento y la evolución de la lesión.

El 100% de los estudios compara dos intervenciones distintas que se basan en el ejercicio pautado para conseguir objetivos terapéuticos similares. El 90% de los trabajos evalúa la fuerza muscular del miembro inferior de formas diversas, utilizando, el 80% de ellos, un dinamómetro computarizado como instrumento de medida para objetivar este resultado clave.

El 50% de los artículos incluye como variable de estudio la laxitud articular de la rodilla para garantizar la integridad de la plastia. Además, cuatro de los cinco trabajos mencionados, utilizan como instrumento de medida un artrómetro.

Se ha realizado la evaluación de la calidad de los artículos mediante la escala PEDro (*Anexo II. Escala PEDro*), obteniendo una media de 7.2/10, por lo que la revisión tiene una calidad buena dentro de los criterios establecidos.

## 6. DISCUSIÓN

En esta revisión se han incluido estudios que utilizan como herramienta de intervención el ejercicio terapéutico programado, con el objetivo de observar los resultados sobre la fuerza de la extremidad inferior. Además, se pretende conocer si ciertos protocolos pueden modificar la laxitud de rodilla teniendo efectos negativos sobre la plastia.

Como se ha mencionado anteriormente, la muestra total de pacientes contiene un alto porcentaje de deportistas de distintos niveles. Esto puede ser debido a que la rotura del LCA tiene mayor prevalencia en jóvenes que practican actividades que implican saltos, pivotes y cambios de dirección (*Sepúlveda F et al., 2017*). Respecto al sexo de los individuos, tres trabajos incluyen exclusivamente varones como sujetos de estudio (*Vidmar M.F et al., 2020, Arundale AJH et al., 2017, Sekir U et al., 2010*). A pesar de que se registran más lesiones en hombres que en mujeres, el ratio de lesión por exposición en el segundo grupo es mayor. (*Gornitzky AL et al., 2015*). Por lo tanto, cabe tener en cuenta en la prevención y en la rehabilitación el aumento de la actividad deportiva de la mujer, así como el mayor riesgo que presentan ante esta patología.

Los estudios de *Arundale AJH* y colaboradores, así como el de *Capin J.J et al 2018*, miden los efectos del programa de rehabilitación postoperatoria descrito previamente por *White K en 2013*, pero añadiendo ejercicios de perturbación. Este protocolo no especifica el momento de introducción de los ejercicios porque todos los sujetos presentan un índice de simetría entre piernas mayor del 80% como criterio de inclusión. Por lo tanto, su intervención no es adecuada para establecer un criterio que asegure la integridad de la plastia al realizar ciertos ejercicios.

Por otro lado, encontramos que el entrenamiento de alta intensidad (20RM-8RM\*) mejora la potencia muscular (fuerza x velocidad) de forma más rápida, que el entrenamiento de baja intensidad (30RM-20RM). La mejora en menos tiempo de la potencia del primer grupo puede ser debida al uso de cargas más elevadas. A pesar de la mayor intensidad del entrenamiento, no se observó un aumento de la laxitud medida con artrómetro, por lo que se pueden considerar cargas seguras para la plastia. (*Bieler T et al., 2014*).

Una de las discrepancias que encontramos en la información hallada, es la escasez de consenso respecto a los tiempos de introducción de los distintos tipos de ejercicio para garantizar la seguridad del injerto. Como se ha mencionado anteriormente, la mitad de las intervenciones comienzan entre el tercer y cuarto mes tras la cirugía. Sin embargo, se ha demostrado que la introducción de ejercicios isocinéticos de isquiosurales en la tercera semana postquirúrgica, no produce efectos adversos. (Sekir U et al., 2010). Cabe destacar, que no se ha tenido en cuenta el origen de la plastia en la cirugía de los pacientes que forman parte de la revisión, lo cual es relevante a la hora de elegir los ejercicios, los tiempos de trabajo, etc...

Existe controversia respecto al momento de inicio de los ejercicios de cuádriceps en cadena cinética abierta (CCA) por la repercusión que puedan tener sobre el injerto. El estudio de Fukuda TY y colaboradores, muestra que los ejercicios de extensión de cuádriceps en CCA a partir de la cuarta semana tras la operación (ROM entre 45-90°), mejoran la fuerza en menos tiempo. Por el contrario, la revisión sistemática de Glass R y colaboradores de 2010, no recomienda la introducción de ejercicios en CCA antes de las seis semanas tras la intervención quirúrgica.

El entrenamiento excéntrico isocinético en banco de cuádriceps también produce un mayor incremento de la fuerza muscular que el excéntrico convencional. No obstante, no mejora el desempeño funcional de los pacientes, probablemente porque estos ejercicios no son funcionales y solo están orientados al incremento de la fuerza. (Vidmar M.F et al., 2020). La revisión de Gokeler A y colaboradores, también respalda la necesidad de introducir ejercicios excéntricos en la rehabilitación, ya que son más efectivos para reestablecer la fuerza de cuádriceps.

El entrenamiento de prensa de piernas isocinético, con la carga controlada por la velocidad, fue más efectivo que el programa de ejercicios de prensa convencional, con la carga controlada por el peso. (Friedmann-Bette B et al., 2018). Este tipo de dispositivos isocinéticos registran buenos resultados, probablemente porque permiten que los ejercicios se realicen a máxima intensidad y a una velocidad constante en todo el ROM, sin riesgo de superar la tolerancia del paciente a una determinada carga.

Cabe destacar, que el trabajo de *Hughes L* y colaboradores utiliza el BFRT y lo compara con el ejercicio de alta intensidad. Se encontraron resultados similares en cuanto a la fuerza, pero el primer grupo presentó menos dolor, lo que indirectamente puede ser beneficioso al mejorar la calidad de los entrenamientos. (*Hughes L et al., 2019*).

Los programas revisados tienen entre dos y 32 semanas de duración debido a la diversidad de intervenciones que se halla en los trabajos. El estudio de *Beynonn BD* y colaboradores, no encuentra diferencias para la laxitud al trabajar con un protocolo acelerado de 19 semanas frente a otro de 32. Sin embargo, cabe tener en cuenta que el proceso de ligamentización de la plastia es crucial durante los primeros meses y dura hasta un año tras la intervención. (*Marumo K et al., 2005*).

La mayoría de los ensayos miden la fuerza mediante un dinamómetro isocinético, pero de distintas formas y en diferentes grupos musculares. No obstante, una prueba multiarticular en cadena cinética cerrada, como es la potencia en prensa de piernas, es la que más garantiza la seguridad del ligamento. (*Bieler T et al., 2014*). El trabajo de *Capin JJ* y colaboradores, es el único que no mide la fuerza de forma directa, si no que utiliza la electromiografía de superficie para determinar el índice de simetría entre piernas y la actividad muscular. Respecto a las mediciones de la laxitud, la mayoría de los ensayos utilizan un artrómetro, sin embargo, uno de ellos la evalúa de forma manual (*Sekir et al., 2010*).

Uno de los problemas planteados a la hora de tratar de establecer un protocolo para la rehabilitación del LCA, es la heterogeneidad en las características de los pacientes. La revisión cuenta con un porcentaje importante de pacientes activos jóvenes, por lo tanto, es difícil extrapolar los resultados a la población general. Es necesario realizar una valoración adecuada para poder orientar y adaptar la rehabilitación a los requerimientos de cada paciente, ya que el perfil del sujeto condiciona el planteamiento del tratamiento conforme a los objetivos.

---

\*La RM es una medida de la intensidad del entrenamiento con cargas. El IRM corresponde con el máximo peso que se puede soportar durante una repetición.

## 7. LIMITACIONES Y SEGOS

Dentro de las limitaciones que encontramos en la revisión, la más destacada es la heterogeneidad de la muestra. En muchos ensayos no se especifica el nivel de actividad física de los sujetos y las edades son muy variadas. Además, existe un sesgo de selección al incluir exclusivamente pacientes varones en tres de los trabajos, lo que implica dificultades para aplicar los resultados en un contexto clínico.

Respecto a la bibliografía disponible, cabe destacar que existen numerosos ensayos publicados antes del año 2011 de gran calidad metodológica, que aportan información relevante sobre el tema a tratar en esta revisión. Sin embargo, al acotar la búsqueda a los últimos 10 años, no se accede a esos documentos.

Muchos de los artículos más actuales de la búsqueda, utilizan técnicas distintas al ejercicio para mejorar la fuerza, por lo que no son aptos para su revisión por no adaptarse a los criterios de inclusión. Otra de las dificultades, ha sido encontrar estudios que empleen como terapia el ejercicio físico, sin ayuda de otras técnicas como pueden ser la electroestimulación o la crioterapia.

Los ensayos difieren mucho entre sí en cuanto al momento de inicio de la rehabilitación y a la introducción de determinados ejercicios, esto supone que no existe un consenso establecido respecto a los tiempos de tratamiento.

Otra de las limitaciones las encontramos en la calidad metodológica de ciertos artículos como el de el de *Bieler T et al., 2014*, que cuenta con una puntuación de 6/11 en la escala PEDro. Debido a la naturaleza de la intervención con ejercicio pautado por un fisioterapeuta, en varios ensayos no es posible cegar a los sujetos ni al administrador de la terapia.

Aunque se pueden acordar ciertas variables del entrenamiento, existe gran dificultad para establecer un consenso protocolizado, ya que el entrenamiento tras la lesión debe estar altamente individualizado y adaptado al paciente.

## 8. CONCLUSIONES

El objetivo de esta revisión es comparar y actualizar los métodos de rehabilitación tras la cirugía de reconstrucción del LCA, así como proponer el protocolo más adecuado en base a la ganancia de fuerza y a la seguridad de los ejercicios. Teniendo en cuenta que el nivel de evidencia de los artículos es bueno (media de 7.2 en la escala PEDro) llegamos a las siguientes conclusiones.

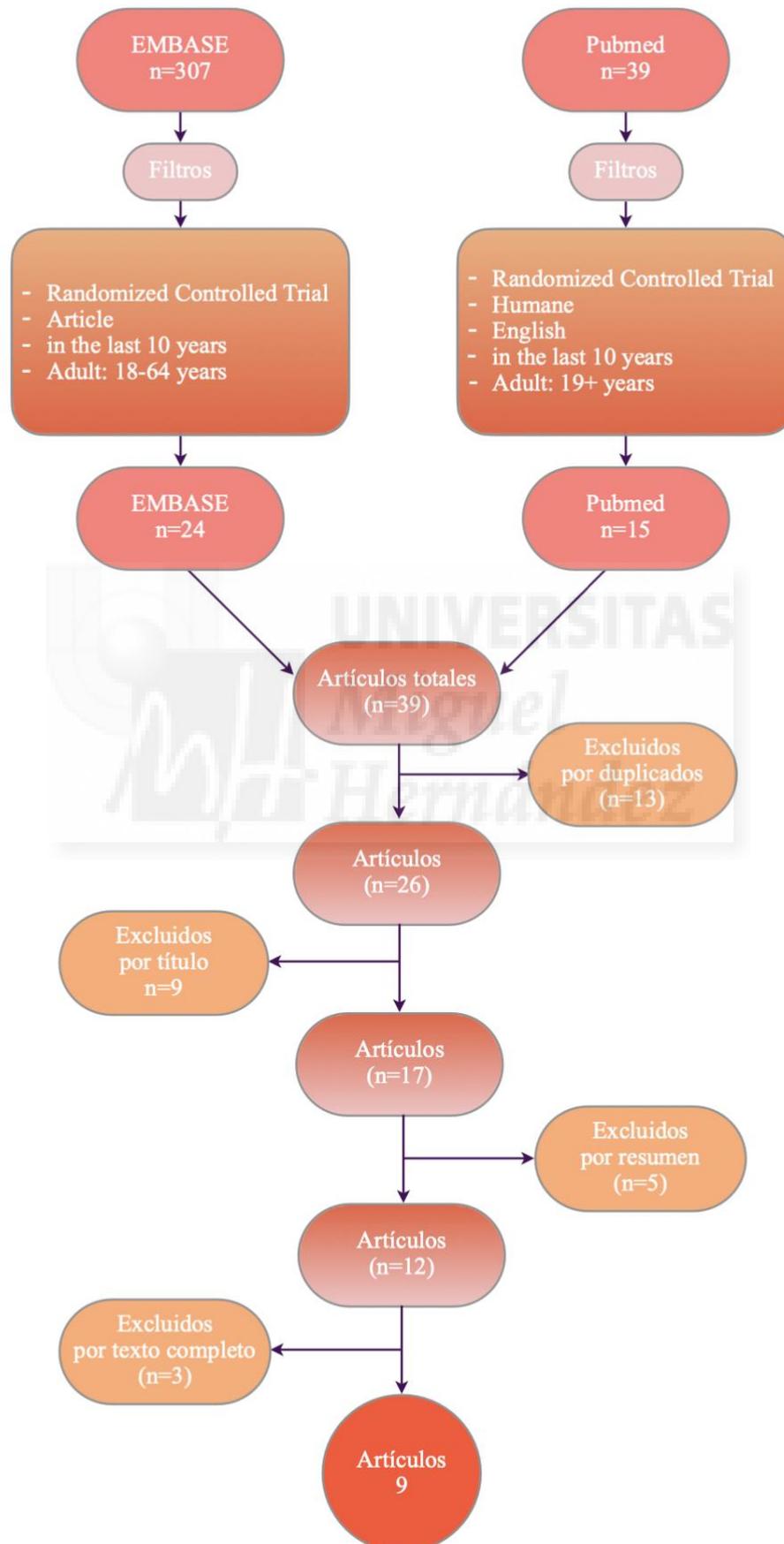
Al analizar en detalle las intervenciones de los grupos que reportan resultados favorables, se concluye que el protocolo descrito por *Fukuda TY* y colaboradores es el que mejor se adapta a la evidencia actual. Este trabajo tiene una buena calidad metodológica, describe un incremento de la fuerza de cuádriceps tras la rehabilitación, no tiene efectos adversos sobre la laxitud y se halla respaldado por la bibliografía actual.

En una primera fase postoperatoria, los ejercicios isométricos de cuádriceps son seguros para la plastia, ya que no se encuentran diferencias para la laxitud. (*Beynon BD et al., 2011, Fukuda TY et al., 2013*). A continuación, se realizarán ejercicios concéntricos y posteriormente excéntricos en función de los síntomas del paciente. El trabajo de *Friedmann-Bette B et al., 2018* defiende el trabajo muscular excéntrico que *Fukuda TY* introduce a partir de la semana 12 para el fortalecimiento de los isquiosurales en CCA. Se ha demostrado que la introducción de ejercicios de extensión de cuádriceps (sin carga externa) en CCA a partir de la cuarta semana (ROM entre 90°-45°) son seguros y no tienen efectos adversos sobre la plastia. (*Fukuda TY et al., 2013*).

La intensidad debe ser elevada, con una carga del 20RM-8RM\* para generar más potencia en el músculo (*Bieler T et al., 2014*). En el protocolo de *Fukuda TY* y colaboradores se trabajan algunos ejercicios a una intensidad del 70% del 1RM y otros a la máxima resistencia que permita realizar 10 repeticiones (10RM). El protocolo ACL-SPORTS, que utilizan los estudios de *Arundale AJH* y *Capin JJ*, encuentra mejoras de los pacientes mediante ejercicios de fuerza, agilidad y saltos en fases más avanzadas de la lesión. El ensayo de *Fukuda TY* y colaboradores, introduce este tipo de ejercicios a partir de la semana 10-11 postoperatoria y los combina con el entrenamiento deportivo específico.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo I. Diagrama de flujo



## 9.2. Anexo II. 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.

### Escala PEDro-español

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
Vidmar M.F et al., 2020	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	8/11
Hughes L et al., 2019	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	9/11
Arundale AJH et al., 2018	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	8/11
Capin J.J et al., 2018	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	8/11
Friedmann-Bette B et al., 2018	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	7/11
Arundale AJH et al., 2017	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	9/11
Bieler T et al., 2014	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	6/11
Fukuda TY et al., 2013	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	7/11
Beynnon BD et al., 2011	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	11/11
Sekir et al., 2010	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	8/11

### 9.3. Anexo III. Tabla de resultados

Autor y año	Tipo de población	Tamaño de la muestra	Inicio de la intervención tras cirugía y duración	Datos del protocolo	Variables medidas	Instrumento de medida	Estadística	Resultados
<b>Vidmar M.F et al., 2020</b>	Deportistas varones entre 18-40 años	Total: n=30 GConvenc (n=15) GIsocin (n=15)	A las 6 semanas durante 6 semanas	Calentamiento, series, repeticiones, ejercicios, descansos, ROM, frecuencia, carga, duración.	1. Fuerza muscular isométrica, concéntrica y excéntrica extensora.	1. Dinamómetro computarizado Multi Joint System 3 Pro	- D de Cohen - Pruebas t independientes	El GIsocin obtuvo mejoras significativamente mayores que el GConvenc respecto a la fuerza isométrica y a la fuerza excéntrica. El IG presentó tamaños de efecto más grandes (antes y después del entrenamiento) que el CG para todos los resultados.
<b>Hughes L et al., 2019</b>	Pacientes con una media de 29 años	Total: N=28 BFR-RT (n=14) HL-RT (n=14)	A las 2 semanas durante 8 semanas (16 sesiones)	Calentamiento, peso corporal, series, repeticiones, ejercicios, % del 1RM, ROM, frecuencia, precauciones	1. Fuerza unilateral 10RM y la 10RM concéntrica 2. Fuerza muscular isocinética extensora y flexora 3. Laxitud de la rodilla	1. Prensa de piernas MED (Technogym, Bracknell, Reino Unido) 2. Dinamómetro Isocinético Biodex System 4 3. Artrómetro de ligamento de la rodilla KT-1000	- Pruebas t de muestras independientes - Prueba de Fisher - Prueba de Shapiro-Wilks - Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene - ANOVA de medidas repetidas - D de Cohen	1. <b>La fuerza de 10RM</b> Disminuye tras la operación y aumenta tras la intervención en ambos grupos sin diferencias entre grupos 2. <b>La fuerza isocinética</b> Disminuye en la pierna lesionada desde el preoperatorio hasta el post-entrenamiento sin diferencias entre grupos 3. <b>Laxitud</b> Disminuye desde el preoperatorio hasta el post-entrenamiento sin diferencias entre grupos

<b>Arundale AJH et al., 2018</b>	Deportistas entre 13 y 54 años	n=80 SAPP: n=40 SAPP+PERT: N=40	Entre 3 y 9 meses durante 2 semanas (10 sesiones)	Calentamiento, series, repeticiones, ejercicios, descansos, ROM.	1. Índice de simetría en la fuerza de cuádriceps (QI, %)	Dinamómetro electromecánico (Kin com; DJO Global o System 3; Biodex)	-T-test -Chi-cuadrado -ANOVA	- Tamaño del efecto significativo para el QI en ambos grupos - Los hombres mejoraron el QI comparado con las mujeres - No se encontraron diferencias significativas entre grupos
<b>Capin J.J et al., 2018</b>	Deportistas con una media de 23 años	n=37 SAPP: n=18 SAPP+PERT: N=19	Entre 3 y 10 meses durante 2 semanas (10 sesiones)	Calentamiento, series, repeticiones, ejercicios, descansos, ROM.	1. Actividad muscular máxima extensora  2. Actividad muscular máxima flexora	Electromiografía de superficie (EMG)	-T-test - Chi-cuadrado	La simetría en la actividad muscular no mejoró a corto plazo, pero sí a los dos años para ambos grupos.
<b>Friedmann-Bette B et al., 2018</b>	Deportistas entre 18-35 años	n=68 CON/EEC CON/ECC+	A las 12 semanas durante 12 semanas	Calentamiento, series, repeticiones, ejercicios, descansos, ROM, frecuencia, carga (con peso/velocidad)	Fuerza máxima extensora	Dinamómetro IsoMed 2000	- ANCOVA de medidas repetidas - Prueba de Wilcoxon - Prueba de Mann Whitney U	Incremento de la fuerza máxima extensora en ambos grupos
<b>Arundale AJH et al., 201</b>	Varones atletas entre 15 y 54 años	n=40 SAPP: n=20 SAPP+PERT: N=20	Entre 3 y 9 meses durante 5 semanas (10 sesiones)	Calentamiento, series, repeticiones, ejercicios, descansos, ROM.	1.Fuerza de cuádriceps	Dinamómetro electromecánico (Kin-com; DJO Global o System 3; Biodex)	-T-test -Chi-cuadrado -Análisis de la varianza - Prueba t independiente	No hubo diferencias significativas en la mejora de la fuerza de cuádriceps entre grupos

<b>Bieler T et al., 2014</b>	Pacientes de 18 a 45 años	N=50 Grupo LRT, n = 26 Grupo HRT, n = 24	A las 14 semanas (HRT) y a las 8 (LRT) hasta la semana 20	Calentamiento, ejercicios, frecuencia, ROM, RM, series, repeticiones, descansos, progresión de la carga y EVA.	1. Potencia máxima extensora unilateral (fuerza x velocidad) 2. Laxitud articular	1. Leg Extensor Power Rig 2. Artrómetro KT-2000	-T-test - Chi-cuadrado - Prueba de Wilcoxon - ANOVA de dos vías	1. La potencia muscular máxima disminuyó tras la cirugía y se recuperó en mayor medida en el grupo HRT que en el LRT entre las semanas 14 y 20. 2. No hubo diferencias en la laxitud.
<b>Fukuda TY et al., 2013</b>	Pacientes entre 16 y 50 años	N=49 Grupo EOKC: n=23 Grupo LOKC: n=22	A las 4 semanas (EOKC) y a las 12 (LOCK) durante 6 meses (70 sesiones)	Calentamiento, ejercicios, series, repeticiones, ROM, frecuencia.	1. Fuerza extensora y flexora isométrica máxima 2. Laxitud anterior de rodilla	1. Dinamómetro de mano 2. Rolimeter (artrómetro)	-T-test -ANOVA	1. El grupo EOCK mejoró la fuerza isométrica de cuádriceps a partir de las 19 semanas y el grupo LOCK a los 17 meses. 2. Sin diferencias significativas para la laxitud de rodilla
<b>Beynon BD et al., 2011</b>	Adultos con una media de 30 años	N=42 Grupo protocolo acelerado: n=24 Grupo protocolo no acelerado: n=18	Desde la 1ª semana: - Programa no acelerado (32 semanas) - Programa acelerado (19 semanas)	Ejercicio, frecuencia diaria, series, repeticiones, progresión, precauciones.	1. Fuerza extensora y flexora 2. Laxitud articular	1. Dinamómetro isocinético Biodex System 3 2. Artrómetro KT-1000S	- ANCOVA - Prueba de rangos de Wilcoxon - T-test	1. Los participantes de ambos grupos recuperaron una fuerza extensora y flexora similar a los 6 meses. 2. Laxitud similar a lo largo del seguimiento sin diferencias entre grupos
<b>Sekir U et al., 2010</b>	Pacientes varones de 17 a 44 años	N=48 Grupo temprano, n = 26 Grupo tardío, n = 22	A la tercera semana (G. temprano) y a las 9 (G. tardío) durante 4 meses	Ejercicios, frecuencia, ROM, series, repeticiones, progresión de la carga.	1. Fuerza isocinética concéntrica flexora y extensora 2. Fuerza isométrica flexora y extensora 2. Laxitud articular	1. Dinamómetro isocinético Cybex 6000 2. Pruebas ortopédicas manuales	- Prueba de Shapiro-Wilk - Student t -Prueba U de Mann-Whitney	1. Mayor fuerza isométrica e isocinética de isquiosurales en el grupo temprano 2. Mejores índices de laxitud en el grupo temprano que en el tardío.

ROM: range of movement  
ECA: ensayo clínico aleatorizado  
GConvenc: grupo de entrenamiento excéntrico convencional  
GIsocin: grupo de entrenamiento excéntrico isocinético  
BFR-RT: blood flow restriction resistance training  
HL-RT: heavy-load resistance training  
CON / ECC: Entrenamiento de prensa de piernas concéntrico / excéntrico convencional  
CON/ECC +Entrenamiento de prensa de piernas guiado por ordenador  
SAPP: programa de fuerza, agilidad y saltos  
SAPP+PERT: programa de fuerza, agilidad y saltos+perturbación  
Grupo EOKC: inicio temprano de ejercicios de cadena cinética abierta  
Grupo LOKC: inicio tardío de ejercicios de cadena cinética abierta  
ACLR: reconstrucción de ligamento cruzado anterior.  
QI: quadiceps strength limb symmetry  
RM: repetición máxima



## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson AF, Dome DC, Gautam S, Awh MH, Rennirt GW. Correlation of anthropometric measurements, strength, anterior cruciate ligament size, and intercondylar notch characteristics to sex differences in anterior cruciate ligament tear rates. *Am J Sports Med.* 2001 Jan-Feb;29(1):58-66.
2. Arendt E, Dick R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med.* 1995 Nov-Dec;23(6):694-701.
3. 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.
4. 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.
5. Beynon BD, Johnson RJ, Naud S, Fleming BC, Abate JA, Brattbakk B, Nichols CE. Accelerated versus nonaccelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, double-blind investigation evaluating knee joint laxity using roentgen stereophotogrammetric analysis. *Am J Sports Med.* 2011 Dec;39(12):2536-48.
6. Bieler T, Sobol NA, Andersen LL, Kiel P, Løfholm P, Aagaard P, Magnusson SP, Krogsgaard MR, Beyer N. The effects of high-intensity versus low-intensity resistance training on leg extensor power and recovery of knee function after ACL-reconstruction. *Biomed Res Int.* 2014;2014:278512.
7. Birchmeier T, Lisee C, Kane K, Brazier B, Triplett A, Kuenze C. Quadriceps Muscle Size Following ACL Injury and Reconstruction: A Systematic Review. *J Orthop Res.* 2020 Mar;38(3):598-608.
8. Capin JJ, Khandha A, Zarzycki R, Arundale AJH, Ziegler ML, Manal K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Gait mechanics and tibiofemoral loading in men of the ACL-SPORTS randomized control trial. *J Orthop Res.* 2018 Sep;36(9):2364-2372.
9. Ebert JR, Edwards P, Yi L, Joss B, Ackland T, Carey-Smith R, Buelow JU, Hewitt B. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018 Aug;26(8):2353-2361
10. Flandry F, Hommel G. Normal anatomy and biomechanics of the knee. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2011 Jun;19(2):82-92.
11. Fleming BC, Hulstyn MJ, Oksendahl HL, Fadale PD. Ligament Injury, Reconstruction and Osteoarthritis. *Curr Opin Orthop.* 2005 Oct;16(5):354-362.
12. Gabriel MT, Wong EI, Woo L-Y, Yagi M, Debski RE. Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. Vol. 22, *J Orthop Res.* 2004
13. Georgoulis AD, Pappa L, Moebius U, Malamou-Mitsi V, Pappa S, Papageorgiou CO, Agnantis NJ, Soucacos PN. The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001 Nov;9(6):364-8.

14. Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *J Sci Med Sport*. 2009 Nov;12(6):622-7.
15. Giuliani JR, Kilcoyne KG, Rue JP. Anterior cruciate ligament anatomy: a review of the anteromedial and posterolateral bundles. *J Knee Surg*. 2009 Apr;22(2):148-54.
16. 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.
17. Kaeding CC, Léger-St-Jean B, Magnussen RA. Epidemiology and Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Clin Sports Med*. 2017 Jan;36(1):1-8.
18. Mall NA, Chalmers PN, Moric M, Tanaka MJ, Cole BJ, Bach BR Jr, Paletta GA Jr. Incidence and trends of anterior cruciate ligament reconstruction in the United States. *Am J Sports Med*. 2014 Oct;42(10):2363-70.
19. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of Second ACL Injuries 2 Years After Primary ACL Reconstruction and Return to Sport. *Am J Sports Med*. 2014 Jul;42(7):1567-73.
20. Sekir U, Gur H, Akova B. Early versus late start of isokinetic hamstring-strengthening exercise after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon graft. *Am J Sports Med*. 2010 Mar;38(3):492-500.
21. 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.
22. Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *J Athl Train*. 2013 Sep Oct;48(5):610-20.
23. 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.
24. Xergia SA, McClelland JA, Kvist J, Vasiliadis HS, Georgoulis AD. The influence of graft choice on isokinetic muscle strength 4-24 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011 May;19(5):768-80.
25. Sepúlveda F, Sánchez L, Amy E, Micheo W. Anterior Cruciate Ligament Injury: Return to Play, Function and Long-Term Considerations. *Curr Sports Med Rep*. 2017 May/Jun;16(3):172-178.
26. Gornitzky AL, Lott A, Yellin JL, Fabricant PD, Lawrence JT, Ganley TJ. Sport-Specific Yearly Risk and Incidence of Anterior Cruciate Ligament Tears in High School Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2016 Oct;44(10):2716-2723.
27. White K, Di Stasi SL, Smith AH, Snyder-Mackler L. Anterior cruciate ligament-specialized post-operative return-to-sports (ACL-SPORTS) training: a randomized control trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013 Mar 23;14:108.
28. Glass R, Waddell J, Hoogenboom B. The Effects of Open versus Closed Kinetic Chain Exercises on Patients with ACL Deficient or Reconstructed Knees: A Systematic

- Review. *N Am J Sports Phys Ther.* 2010 Jun;5(2):74-84. PMID: 21589664; PMCID: PMC2953392.
29. Fukuda TY, Fingerhut D, Moreira VC, Camarini PM, Scodeller NF, Duarte A Jr, Martinelli M, Bryk FF. Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial. *Am J Sports Med.* 2013 Apr;41(4):788-94.
  30. Gokeler A, Bisschop M, Benjaminse A, Myer GD, Eppinga P, Otten E. Quadriceps function following ACL reconstruction and rehabilitation: implications for optimisation of current practices. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014 May;22(5):1163-74.
  31. 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.
  32. Marumo K, Saito M, Yamagishi T, Fujii K. The "ligamentization" process in human anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar and hamstring tendons: a biochemical study. *Am J Sports Med.* 2005 Aug;33(8):1166-73.

