



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

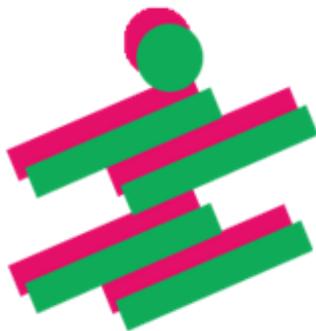
TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA

Alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas en el miembro inferior tras cirugía del ligamento cruzado anterior

Neuromuscular, biomechanic, kinetic and kinematic alterations in the lower limb after anterior cruciate ligament surgery

Alteracións neuromusculares, biomecánicas, cinéticas e cinemáticas no membro inferior tras cirurxía do ligamento cruzado anterior



Alumno: D. Diego Fernández González

DNI: 32715982-T

Tutor: Dña. Beatriz Rodríguez Romero

Convocatoria: Junio 2016

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	5
Objetivos	5
Material y métodos	5
Resultados	5
Discusión/conclusiones	6
1. ABSTRACT	6
Objectives	6
Material and methods.....	6
Outcomes.....	7
Discussion/conclusions	7
2. INTRODUCCIÓN.....	7
2.1 Tipo de trabajo.....	7
2.2 Motivación personal.....	8
3. CONTEXTUALIZACIÓN	8
3.1 Prevalencia de las lesiones del ligamento cruzado anterior	8
3.2 Biomecánica y neurofisiología del ligamento cruzado anterior	8
3.3 Mecanismo lesional y consecuencias patológicas tras la lesión del ligamento cruzado anterior	9
4. FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE ESTUDIO Y OBJETIVOS.....	11
4.1 Formulación de la pregunta de estudio	11
4.2 Objetivo principal	11
4.3 Objetivos secundarios.....	11
5. MATERIAL Y MÉTODOS	12
5.1 Criterios de selección.....	12
5.2 Estrategia de búsqueda bibliográfica	13
5.2.1 Material y recursos utilizados.....	13
5.2.2 Método de búsqueda.....	13
5.2.3 Gestión de la bibliografía localizada.....	17

5.3	Definición de las variables de estudio	17
5.4	Evaluación de la calidad metodológica de los estudios.....	18
6.	RESULTADOS	19
6.1	Resultados de la búsqueda.....	19
6.2	Evaluación de la calidad metodológica de los estudios.....	21
6.3	Tipos de estudios.....	23
6.4	Características de los participantes	24
6.4.1	Características demográficas de los sujetos	24
6.4.2	Tipo de intervención quirúrgica recibida.....	24
6.4.3	Evolución desde la intervención: meses transcurridos desde la reconstrucción del LCA hasta la inclusión de los sujetos en los estudios.....	25
6.5	Tipo de disfunción neuromusculo-esquelética analizada y tipo de medidas de resultados.....	25
6.5.1.	Alteraciones neuromusculares encontradas en el miembro inferior tras cirugía de LCA.....	29
6.5.2.	Alteraciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas encontradas en el miembro inferior tras cirugía de LCA.....	31
7.	DISCUSIÓN.....	39
8.	CONCLUSIONES.....	46
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	47
10.	ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	12
Tabla 2.....	16
Tabla 3.....	18
Tabla 4.....	21
Tabla 5.....	22
Tabla 6.....	27
Tabla 7.....	36

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.....	20
Imagen 2.....	26
Imagen 3.....	26
Imagen 4.....	26
Imagen 5.....	26

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

JCR	Journal Citation Report
SJR	Scimago Journal and Country Rank
LCA	Ligamento Cruzado Anterior
RLCA	Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior
WoS	Web of Science
RAC	Ratio de Activación Central
MCIV	Máxima Contracción Isométrica Voluntaria
Q	Cuartil
SMHA	Salto Monopodal Hacia Adelante
SVB	Salto Vertical Bipodal
SVM	Salto Vertical Monopodal
AB	Apoyo Bipodal
AM	Apoyo Monopodal

1. RESUMEN

Objetivos

Identificar las alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas que se producen en el miembro inferior operado tras la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior en adultos jóvenes, así como las pruebas funcionales y los instrumentos de medida más empleados para identificar tales alteraciones.

Material y métodos

Se realizaron búsquedas en las bases de datos Pubmed, Scopus, Web of Science y SportDiscus. Los criterios de selección se determinaron según tipo y número de participantes, tipos de estudios, tipo de disfunción neuromusculoesquelética evaluada, idioma y cobertura cronológica. Los términos clave utilizados fueron agrupados en 3 bloques: a) cirugía del ligamento cruzado anterior: "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"; b) regiones anatómicas del miembro inferior: "Leg", "Hip", "Knee Joint", "Knee", "Ankle Joint", "Ankle", "Foot", "Foot Joints", y "Quadriceps Muscle"; c) tipo de alteraciones biomecánicas, cinéticas, cinemáticas y neuromusculares: "Biomechanical Phenomena", "Kinetics", "Feedback, Sensory", "Muscle Strength", "Muscle Weakness", "Muscular Diseases", "Gait", "Arthrometry, Articular", "Proprioception" y "Musculoskeletal and Neural Physiological Phenomena".

Las variables de interés se subclasificaron según el tipo de estudio, características de los participantes, tipo de disfunción neuromusculoesquelética analizada y tipos de medidas de resultados. Para la gestión bibliográfica se utilizó el programa Refworks. La valoración de la calidad metodológica de los artículos se realizó en base a los criterios de la escala Oxford y se evaluó el factor de impacto de las revistas según el JCR/SJR.

Resultados

Se seleccionaron 12 artículos, de los cuales 11 demostraron alteraciones en el miembro inferior tras la cirugía del ligamento cruzado anterior. De entre los estudios seleccionados, se encontraron 3 longitudinales y 9 transversales. Los participantes incluidos fueron jóvenes que realizan actividad física habitual. Los resultados fueron medidos a través de contracciones musculares, umbrales de activación motores, ratios de activación centrales, reflejos miotendinosos y pruebas funcionales. En el ámbito neuromuscular se produce una disminución

en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales. En el ámbito biomecánico, cinético y cinemático se produce un valgo dinámico de rodilla y una mayor absorción de cargas en otras articulaciones del miembro inferior.

Discusión/conclusiones

Existen alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas tras la cirugía de LCA que se mantienen a largo plazo tras la cirugía; aunque se hace necesaria la realización de estudios longitudinales de una mejor calidad metodológica para alcanzar un nivel de evidencia más fuerte.

1. ABSTRACT

Objectives

Identify the neuromuscular, biomechanic, kinetic and kinematic alterations that are produce in the operated lower limb after anterior cruciate ligament reconstruction surgery in young adults, as well as the functional tests and measures gadgets that are the most used to identify such alterations.

Material and methods

Searchs were performed in the data bases Pubmed, Scopus, Web of Science and SportDiscus. The search was limited by type and number of participants, type of neuromusculoskeletal dysfunction evaluated, language and chronological coverage. Key terms were grouped in 3 blocks: a) anterior cruciate ligament surgery: "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"; b) anatomic regions of lower limb: "Leg", "Hip", "Knee Joint", "Knee", "Ankle Joint", "Ankle", "Foot", "Foot Joints",y "Quadriceps Muscle"; c) biomechanic, kinetic, kinematic and neuromuscular alterations: "Biomechanical Phenomena", "Kinetics", "Feedback, Sensory", "Muscle Strength", "Muscle Weakness", "Muscular Diseases", "Gait", "Arthrometry, Articular", "Proprioception" y "Musculoskeletal and Neural Physiological Phenomena".

Variables of interest were subclassified according to the study type, participants characteristics, neuromusculoskeletal dysfunction type and outcomes measures type.

Bybliographic management was performed by Refworks.

Methodological quality assessment of articles was performed according to Oxford scale criteria and the magazines' impact factor was performed according to JCR/SJR.

Outcomes

12 articles were selected, of which 11 demonstrated alterations in lower limb after anterior cruciate ligament surgery. In the selected studies, there were 3 longitudinal and 9 cross-sectiones. The participants included were young people who perform regular physical activity. The outcomes were measured trough muscular contractions, motor activation threshold, central activation ratio, myotendinosus reflex and functional tests. Within neuromuscular field was showed a decrease in the strenght of quadriceps and hamstrings. Within biomechanic, kinetic and kinematic field were showed a knee dynamic valgus and a increased absorption of charges in the other joints of lower limb.

Discussion/conclusions

Analyzing the outcomes, we can conclude that there are alterations in lower limb after the anterior cruciate ligament, though it is necessary the performance of studies with better methodological quality to obtain stronger evidence levels.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Tipo de trabajo

El presente trabajo es una revisión bibliográfica sistemática de la literatura disponible sobre las alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas que se producen en el miembro inferior tras la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

La revisión sistemática es un tipo de artículo ampliamente usado en ciencias de la salud que recopila y resume la información conocida acerca de un determinado tema.

2.2 Motivación personal

La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) es una lesión muy frecuente, sobre todo en deportistas. Requiere una atención multidisciplinar al necesitar la

colocación de un injerto mediante cirugía y una posterior rehabilitación en la que el fisioterapeuta juega un papel muy importante.

Las alteraciones musculoesqueléticas y el protocolo de rehabilitación a seguir tras la cirugía son conocidos, pero no lo son tanto las alteraciones que persisten en la rodilla y en el miembro inferior después de 6 meses, que es el tiempo mínimo considerado para volver a la práctica deportiva habitual.

Mi motivación personal es haber sufrido esta lesión por dos veces, por lo que he podido vivenciar esta patología en clínica desde los dos ámbitos: como paciente y como "fisioterapeuta". Es por esto que creo que aún existen muchas alteraciones a largo plazo que no están claramente definidas ya que tras los 6 meses, en muchos casos, se pierde el seguimiento del paciente obviándose tales disfunciones y por tanto, su tratamiento.

3. CONTEXTUALIZACIÓN

3.1 Prevalencia de las lesiones del ligamento cruzado anterior

Las lesiones de LCA son reconocidas como unas de las más comunes y serias entre las lesiones deportivas, con una prevalencia de 3/10.000 habitantes por año. La incidencia es mayor en deportes de contacto y aquellos en los que se realizan amplios movimientos de rotación de rodilla, tales como el fútbol, baloncesto o esquí¹. Las reconstrucciones de ligamento cruzado anterior (RLCA) suponen un 22% de todas las artroscopias de rodilla en España².

Un 80% de los atletas que han sufrido esta cirugía son incapaces de volver exitosamente al nivel deportivo previo a la lesión³. Además, el riesgo de sufrir una recaída es 3 veces superior que en un adulto sano⁴.

3.2 Biomecánica y neurofisiología del ligamento cruzado anterior

El LCA es uno de los estabilizadores más importantes de la rodilla, resistiendo la traslación anterior de la tibia sobre el fémur^{5,6}. Posee una función propioceptiva clave en el miembro inferior, proporcionando el sentido de posición y movimiento, que se ve alterado después de la ruptura y no se recupera tras la cirugía^{7,8}.

El LCA cuenta con una estrecha relación con el sistema gamma muscular, por lo que regula el tono muscular. Todos los receptores que posee el LCA contribuyen de manera clave a la estabilidad funcional de la rodilla y al desarrollo del control motor⁹.

3.3 Mecanismo lesional y consecuencias patológicas tras la lesión del ligamento cruzado anterior

El mecanismo de lesión más frecuente en el LCA consiste en una rotación del fémur sobre la tibia fija (pie apoyado) durante un movimiento de valgo forzado. También es común en la hiperextensión de la rodilla, aislada o en combinación con una rotación interna tibial. Un tercer mecanismo lesional, menos habitual que los anteriores, sucede durante una flexión forzada de rodilla¹⁰.

Tras la lesión del LCA se ha demostrado que se produce una disfunción en el sistema propioceptivo del mismo, que conlleva una reducción en la activación, debilidad y asimetría del cuádriceps^{11,12}, que se mantiene meses o incluso años tras la lesión¹³. Sin embargo, otros estudios concluyen que la funcionalidad de los mecanorreceptores es restaurada tras la RLCA porque se han evocado potenciales somatosensoriales mediante electroestimulación en ligamentos reconstruidos¹⁴, por lo que existe controversia en este aspecto.

Algunos estudios determinan que sólo entre el 12%-16% de los individuos operados consiguen recuperar el 90% de la fuerza previa a la cirugía en los extensores de rodilla a los 6 meses de la operación^{15,16}, mientras que otros concluyen que son necesarios 24 meses para recuperar entre el 80%-90% de la fuerza^{17,18}. Este aspecto es importante ya que la diferencia en la fuerza muscular entre ambos miembros inferiores es un criterio para el retorno a la actividad deportiva, y las diferencias en la activación del cuádriceps del miembro inferior intervenido vs no intervenido son superiores en los individuos operados a los 2 años de la cirugía, que en sujetos sanos¹⁹.

También se ha observado que el aumento de la utilización del injerto combinado de semitendinoso y gracilis genera una disminución en la fuerza de los flexores de rodilla que parece empezar a recuperarse a niveles satisfactorios a los 2 años de la cirugía²⁰. A pesar de esto, sigue siendo desconocido en qué posición angular de la rodilla este déficit es mayor²¹.

Se han descrito a su vez, la presencia de alteraciones cinéticas en el plano sagital y frontal de la rodilla, tales como la disminución del momento flexor de la rodilla²² o la alteración del momento aductor de la rodilla²³, aunque en este último aspecto todavía se desconoce si hay un aumento o una disminución. Dichas alteraciones en la articulación de la rodilla han sido identificadas como factores de riesgo para sufrir una segunda ruptura de LCA durante actividades deportivas como la de aterrizaje²⁴.

Diferentes estudios han demostrado la presencia de alteraciones cinéticas y cinemáticas en actividades como la marcha²⁵, subida y bajada de escaleras²⁶, actividades de pivotaje^{26,27}, saltos verticales²⁸ y saltos horizontales monopodales²⁹ en todas las articulaciones del miembro inferior. Los autores proponen que estas alteraciones en las demás articulaciones del miembro inferior se deben a que los pacientes reducen las cargas en la rodilla operada durante los diferentes tipos de actividades motoras³⁰, realizando compensaciones en las articulaciones restantes, aunque es necesario determinar de una forma más clara cuándo y cómo se realizan las mismas.

En cuanto a las consecuencias patológicas a más largo plazo, un 50% de los pacientes muestran signos de artrosis de rodilla 10 años después de la lesión³¹. La causa reside en que la movilidad tibiofemoral se ve alterada tras la rotura de LCA y la cirugía no restaura la rotación tibial normal, manteniéndose una limitación a la rotación interna en bipedestación³², que altera las fuerzas que recibe el cartílago durante las diversas actividades. A pesar de esto, algunos estudios muestran indicios de que una orientación oblicua del injerto genera una rotación tibial más normalizada que en un posición más vertical, aunque son necesarias más investigaciones en este aspecto³³.

Por todo lo expuesto, se hace necesaria la realización de esta revisión sistemática para actualizar la evidencia disponible sobre las diferentes disfunciones neuro-musculo-esqueléticas que se producen tras la cirugía del LCA, e intentar aclarar aquellos aspectos sobre los que todavía existe controversia. Esta revisión facilitará a los diferentes profesionales que abordan estas lesiones información sobre tales disfunciones permitiéndoles un mejor abordaje de las mismas.

4. FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE ESTUDIO Y OBJETIVOS

4.1 Formulación de la pregunta de estudio

La población objeto de estudio son adultos de entre 18-44 años que han sido operados de reconstrucción del LCA. Se han identificado diversas consecuencias patológicas después de la intervención, sin embargo existe escasez de información detallada sobre las alteraciones neuro-musculo-esqueléticas que se producen o mantienen tras 6 meses de la cirugía. Se pretende a su vez identificar cuáles son las pruebas funcionales y los instrumentos de medida más empleados para identificar tales alteraciones.

En adultos jóvenes operados de reconstrucción del LCA ¿cuáles son las alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas presentes tras 6 meses de la cirugía?

Para responder a dicha pregunta se han elaborado los siguientes objetivos.

4.2 Objetivo principal

Identificar las alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas que se producen en el miembro inferior tras la cirugía de reconstrucción del LCA en adultos jóvenes.

4.3 Objetivos secundarios

Determinar las alteraciones neuromusculares en el miembro inferior de adultos que han sido operados de reconstrucción del LCA, en comparación con el miembro inferior no operado y/o con un grupo control sano.

Identificar los cambios biomecánicos, cinéticos y cinemáticos en la rodilla operada de reconstrucción del LCA, así como las compensaciones realizadas en otras articulaciones en comparación con un grupo control sano.

Conocer las diferentes pruebas funcionales, mediciones e instrumentos de registro de los parámetros neuromusculares y biomecánicos en el miembro inferior y/o rodilla que ha sido operada de reconstrucción del LCA.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Criterios de selección

Para la presente revisión se han establecido los siguientes criterios de inclusión y exclusión de los artículos: tipo y número de participantes, tipos de estudios, tipo de disfunción neuromusculoesquelética evaluada, idioma y cobertura cronológica. Dichos criterios se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión de los artículos

	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Tipos de participantes	Adultos de entre 18 y 44 años intervenidos quirúrgicamente de ligamento cruzado anterior de rodilla.	Adultos con cirugía del miembro inferior previa (excepto resección meniscal inferior al 25%). Adultos con patologías del miembro inferior previas o concomitantes. Estudios realizados en cadáveres o animales
Tipos de estudios	Estudios transversales de 2 cohortes, estudios longitudinales, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas.	Revisiones narrativas, estudios transversales de 1 cohorte, cartas al director, editoriales, comentarios, comunicaciones a congresos, fichas técnicas e informes breves.
Número de participantes	Para estudios longitudinales: sin límite de participantes. Para estudios transversales: \geq 15 sujetos en la cohorte de pacientes.	Estudios transversales con menos de 15 sujetos en la cohorte de pacientes.
Disfunción neuromusculoesquelética evaluada	Alteraciones neuromusculares Alteraciones biomecánicas Alteraciones cinéticas Alteraciones cinemáticas	
Idioma	Se seleccionaron trabajos escritos en español, portugués e inglés.	
Cobertura cronológica	Trabajos publicados desde enero de 2011 hasta mayo de 2016.	

5.2 Estrategia de búsqueda bibliográfica

5.2.1 Material y recursos utilizados

Con el fin de localizar información científica sobre el tema de estudio se ha llevado a cabo una búsqueda bibliográfica en las principales bases de datos en el área de ciencias de la salud.

En primer lugar se ha realizado una búsqueda en bases de datos especializadas en revisiones sistemáticas: la Cochrane Library Plus y las Agencias de Evaluación de Tecnologías de la misma base de datos. Dado que, como resultado de dicha búsqueda no se ha encontrado ninguna revisión sistemática que respondiese a la pregunta de investigación formulada, se ha procedido a la localización de estudios originales.

La búsqueda de la información se ha realizado entre los meses de marzo y abril de 2016, por parte de un evaluador, en:

- Bases de datos internacionales en Ciencias de la Salud: Pubmed.
- Bases de datos internacionales multidisciplinares: Scopus y Web of Science.
- Bases de datos internacionales en Educación Física y Deportes: SportDiscus.

5.2.2 Método de búsqueda

Se detalla a continuación la estrategia de búsqueda llevada a cabo en las principales bases de datos. En la Tabla 2 se presenta un resumen de la misma.

5.2.2.1. Búsqueda en Pubmed

Para realizar la búsqueda en PubMed, las palabras clave se agruparon en 3 bloques:

- El primer bloque es el de **cirugía del ligamento cruzado anterior**, en el que se incluyó la palabra clave: "Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh].
- El segundo bloque es el referente a las **regiones anatómicas del miembro inferior**, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: "Leg"[Mesh] OR "Hip"[Mesh] OR ("Knee Joint"[Mesh] OR "Knee"[Mesh] OR "Ankle Joint"[Mesh] OR "Ankle"[Mesh] OR "Foot"[Mesh] OR "Foot Joints"[Mesh] OR "Quadriceps Muscle"[Mesh].

- El tercer bloque es el referente al **tipo de alteraciones biomecánicas, cinéticas, cinemáticas y neuromusculares** que puede sufrir el miembro inferior tras cirugía del ligamento cruzado anterior, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave : "Biomechanical Phenomena"[Mesh] OR "Kinetics"[Mesh] OR "Feedback, Sensory"[Mesh] OR "Muscle Strength"[Mesh] OR "Muscle Weakness"[Mesh] OR "Muscular Diseases"[Mesh] OR "Gait"[Mesh] OR "Arthrometry, Articular"[Mesh] OR "Proprioception"[Mesh] OR "Musculoskeletal and Neural Physiological Phenomena"[Mesh].

La búsqueda resultante se presenta en la Tabla 2.

La búsqueda se realizó el día 12 de marzo de 2016.

5.2.2.2. Búsqueda en Scopus

Para realizar la búsqueda en Scopus los términos se agruparon en 3 bloques:

- El primer bloque es el de **cirugía del ligamento cruzado anterior**, en el que se incluyó la palabra clave: TITLE-ABS-KEY ("anterior cruciate ligament reconstruction").
- El segundo bloque es el referente a las **regiones anatómicas del miembro inferior**, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: TITLE-ABS-KEY (leg) OR TITLE-ABS-KEY (hip) OR TITLE-ABS-KEY (knee) OR TITLE-ABS-KEY (ankle) OR TITLE-ABS-KEY (foot) OR TITLE-ABS-KEY (quadriceps) OR TITLE-ABS-KEY (hamstring).
- El tercer bloque es el referente al **tipo de alteraciones biomecánicas, cinéticas, cinemáticas y neuromusculares** que puede sufrir el miembro inferior tras cirugía del ligamento cruzado anterior, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: TITLE-ABS-KEY (biomechanich*) OR TITLE-ABS-KEY (kinetic*) OR TITLE-ABS-KEY (gait) OR TITLE-ABS-KEY ("sensory feedback") OR TITLE-ABS-KEY ("muscular strenght") OR TITLE-ABS-KEY ("muscular weakness") OR TITLE-ABS-KEY (arthrometry) OR TITLE-ABS-KEY ("musculoskeletal and neural physiological phenomena") OR TITLE-ABS-KEY (proprioception).

La búsqueda resultante se presenta en la Tabla 2.

La búsqueda se realizó el día 15 de marzo.

5.2.2.3. Búsqueda en Web of Science

Para realizar la búsqueda en Web of Science se agruparon los términos en 3 bloques:

- El primer bloque es el de **cirugía del ligamento cruzado anterior**, en el que se incluyó la palabra clave: TS=("anterior cruciate ligament reconstruction").
- El segundo bloque es el referente a las **regiones anatómicas del miembro inferior**, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: TS=(leg OR hip OR knee OR ankle OR foot OR quadriceps OR hamstring).
- El tercer bloque es el referente al **tipo de alteraciones biomecánicas, cinéticas, cinemáticas y neuromusculares** que puede sufrir el miembro inferior tras cirugía del ligamento cruzado anterior, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: TS=(biomechanich* OR kinectic* OR gait OR "sensory feedback" OR "muscular strenght" OR "muscular weakness" OR arthrometry OR "musculoskeletal and neural physiological phenomena" OR proprioception).

La búsqueda resultante se presenta en la Tabla 2.

La búsqueda se realizó el día 16 de marzo.

5.2.2.4. Búsqueda en SportDiscus

Para realizar la búsqueda en SportDiscus se agruparon los términos en 3 bloques:

- El primer bloque es el de **cirugía del ligamento cruzado anterior**, en el que se incluyó la palabra clave: AB "anterior cruciate ligament reconstruction"
- El segundo bloque es el referente a las **regiones anatómicas del miembro inferior**, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: (AB leg OR AB hip OR AB knee OR AB ankle).
- El tercer bloque es el referente al **tipo de alteraciones biomecánicas, cinéticas, cinemáticas y neuromusculares** que puede sufrir el miembro inferior tras cirugía del ligamento cruzado anterior, en el que se incluyeron las siguientes palabras clave: (AB biomechanich* OR AB

kinetic* OR AB gait OR AB "muscular strenght" OR AB arthrometry OR AB propriocept*).

La búsqueda resultante se presenta en la Tabla 2.

La búsqueda se realizó el día 17 de marzo.

Tabla 2. Estrategia de búsqueda en las principales bases de datos

<p>PUBMED</p> <p>((("Anterior Cruciate Ligament Reconstruction"[Mesh]) AND ((((((("Leg"[Mesh]) OR "Hip"[Mesh]) OR ("Knee Joint"[Mesh] OR "Knee"[Mesh])) OR ("Ankle Joint"[Mesh] OR "Ankle"[Mesh])) OR ("Foot"[Mesh] OR "Foot Joints"[Mesh])) OR "Quadriceps Muscle"[Mesh])) AND ((((((((((("Biomechanical Phenomena"[Mesh]) OR "Kinetics"[Mesh]) OR "Feedback, Sensory"[Mesh]) OR "Muscle Strength"[Mesh]) OR "Muscle Weakness"[Mesh]) OR "Muscular Diseases"[Mesh]) OR "Gait"[Mesh]) OR "Arthrometry, Articular"[Mesh]) OR "Proprioception"[Mesh]) OR "Musculoskeletal and Neural Physiological Phenomena"[Mesh])).</p> <p>Filtrado por: Humanos, publicado en los últimos 5 años, en idiomas inglés, español y portugués.</p>
<p>SCOPUS</p> <p>(TITLE-ABS-KEY ("anterior cruciate ligament reconstruction") AND TITLE-ABS-KEY (leg) OR TITLE-ABS-KEY (hip) OR TITLE-ABS-KEY (knee) OR TITLE-ABS-KEY (ankle) OR TITLE-ABS-KEY (foot) OR TITLE-ABS-KEY (quadriceps) OR TITLE-ABS-KEY (hamstring) AND TITLE-ABS-KEY (biomechanich*) OR TITLE-ABS-KEY (kinetic*) OR TITLE-ABS-KEY (gait) OR TITLE-ABS-KEY ("sensory feedback") OR TITLE-ABS-KEY ("muscular strenght") OR TITLE-ABS-KEY ("muscular weakness") OR TITLE-ABS-KEY (arthrometry) OR TITLE-ABS-KEY ("musculoskeletal and neural physiological phenomena") OR TITLE-ABS-KEY (proprioception)).</p> <p>Filtrado por: Artículos, publicados en los últimos 5 años, idiomas inglés, español y portugués y subárea sanitaria.</p>
<p>WEB OF SCIENCE</p> <p>TS=("anterior cruciate ligament reconstruction") AND TS=(leg OR hip OR knee OR ankle OR foot OR quadriceps OR hamstring) AND TS=(biomechanich* OR kinectic* OR gait OR "sensory feedback" OR "muscular strenght" OR "muscular weakness" OR arthrometry OR "musculoskeletal and neural physiological phenomena" OR proprioception).</p> <p>Filtrado por: Artículos publicados en los últimos 5 años e idiomas inglés, español y portugués.</p>
<p>SPORTDISCUS</p> <p>AB "anterior cruciate ligament reconstruction" AND (AB leg OR AB hip OR AB knee OR AB ankle) AND (AB biomechanich* OR AB kinetic* OR AB gait OR AB "muscular strenght" OR AB arthrometry OR AB propriocept*))</p>

5.2.3 Gestión de la bibliografía localizada

Una vez realizada la búsqueda en las diferentes bases de datos, los resultados fueron descargados en el gestor de referencias bibliográficas Refworks, con la

finalidad de eliminar los duplicados existentes e identificar cuáles cumplían o no los criterios de selección establecidos. Para la mayoría de los artículos se hizo a través del *abstract*, aunque en determinados casos fue necesario acceder al texto completo.

5.3 Definición de las variables de estudio

Las variables de interés analizadas se han clasificado en 3 subgrupos:

- Relacionadas con el **tipo de estudio**: clasificación del estudio según la metodología utilizada para su desarrollo.
- Relacionadas con las **características de los participantes**. Se incluyen:
 - Características demográficas: edad y sexo.
 - Tipo de intervención quirúrgica recibida.
 - Evolución desde la intervención: meses transcurridos desde la reconstrucción del LCA.
- Relacionadas con el **tipo de disfunción neuromusculo-esquelética analizada y tipos de medidas de resultados** (Tabla 3). Dado el objetivo de la revisión, se registraron variables relacionadas con:
 - Tipo de disfunción/es analizada/s: neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas.
 - Tipo de herramienta de registro utilizada: dinamometría, electromiografía, medición centimétrica, resonancia magnética, plataformas de fuerza y sensores de movimiento.
 - Pruebas funcionales y otras mediciones empleadas:
 - a) para las disfunciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas: saltos verticales y horizontales, aterrizajes desde plataforma, pivotajes, pasos laterales sin anticipar y apoyos monopodales y bipodales.
 - b) Para las disfunciones neuromusculares: contracciones musculares isométricas e isocinéticas, reflejos miotendinosos, ratios de activación central y umbrales de activación musculares.

Tabla 3. Resumen de las variables de estudio relacionadas con el tipo de disfunción neuromusculo-esquelética analizada y tipos de medidas de resultados

Disfunción neuromusculo-esquelética analizada	Tipo de herramienta de registro	Pruebas funcionales empleadas y otras mediciones
Neuromuscular	Dinamometría. Electromiografía. Medición centimétrica.	Contracción muscular. Reflejo miotendinoso. Ratio de activación central muscular. Umbral de activación muscular.
Biomecánica, cinética y cinemática	Resonancia magnética. Sensores de movimiento. Plataformas de fuerzas.	Salto monopodal hacia adelante. Salto vertical monopodal. Salto vertical bipodal. Apoyo monopodal. Apoyo bipodal. Aterrizaje bipodal. Desplazamiento lateral. Pivotaje.

La extracción de datos se realizó siguiendo una metodología sistemática y en hojas de registro diseñadas específicamente para esta revisión.

5.4 Evaluación de la calidad metodológica de los estudios

Debido a las características de los estudios encontrados, la calidad de la evidencia científica de éstos fue valorada de acuerdo con la escala de Oxford, que se puede consultar en el Anexo 1. El objetivo de esta escala es establecer un *nivel de evidencia* determinado según el tipo de estudio, y un *grado de recomendación* en cuanto a la evidencia clínica.

A su vez, se ha realizado un análisis de la calidad de las revistas en las que han sido publicados los artículos seleccionados para esta revisión, según el criterio que ofrece la base de datos WoS, el Journal Citation Report (JCR); y según el criterio de la base de datos Scopus, Scimago Journal and Country Rank (SJR).

6. RESULTADOS

6.1 Resultados de la búsqueda

El número total de artículos que proporcionó la búsqueda en las bases de datos Pubmed, Scopus, Web of Science y SportDiscus, así como el número total de artículos incluidos, se representan en el diagrama de flujo (Imagen 1).

- En PubMed: 335 artículos. De estos, los que cumplieron los criterios de inclusión, y por tanto seleccionados, fueron 9.
- En Scopus: 271 artículos. De estos cumplieron los criterios de inclusión 5, de los cuales 2 ya habían sido encontrados en Pubmed, por lo que fueron seleccionados 3.
- En Web of Science: 198 artículos. De estos cumplieron los criterios de inclusión 3, todos ellos ya habían sido encontrados en Scopus, por lo que ninguno fue seleccionado.
- En SportDiscus: 36 artículos. De estos cumplieron los criterios de inclusión 5, todos ellos ya habían sido encontrados en Scopus, por lo que ninguno fue seleccionado.

Los principales motivos de exclusión de los artículos fueron:

- No ajustarse a la temática de la revisión sistemática.
- No cumplir los rangos de inclusión por edad de los pacientes.
- Incluir pacientes con patologías asociadas o concomitantes.

Por lo tanto, el número total de artículos incluidos fueron 12.

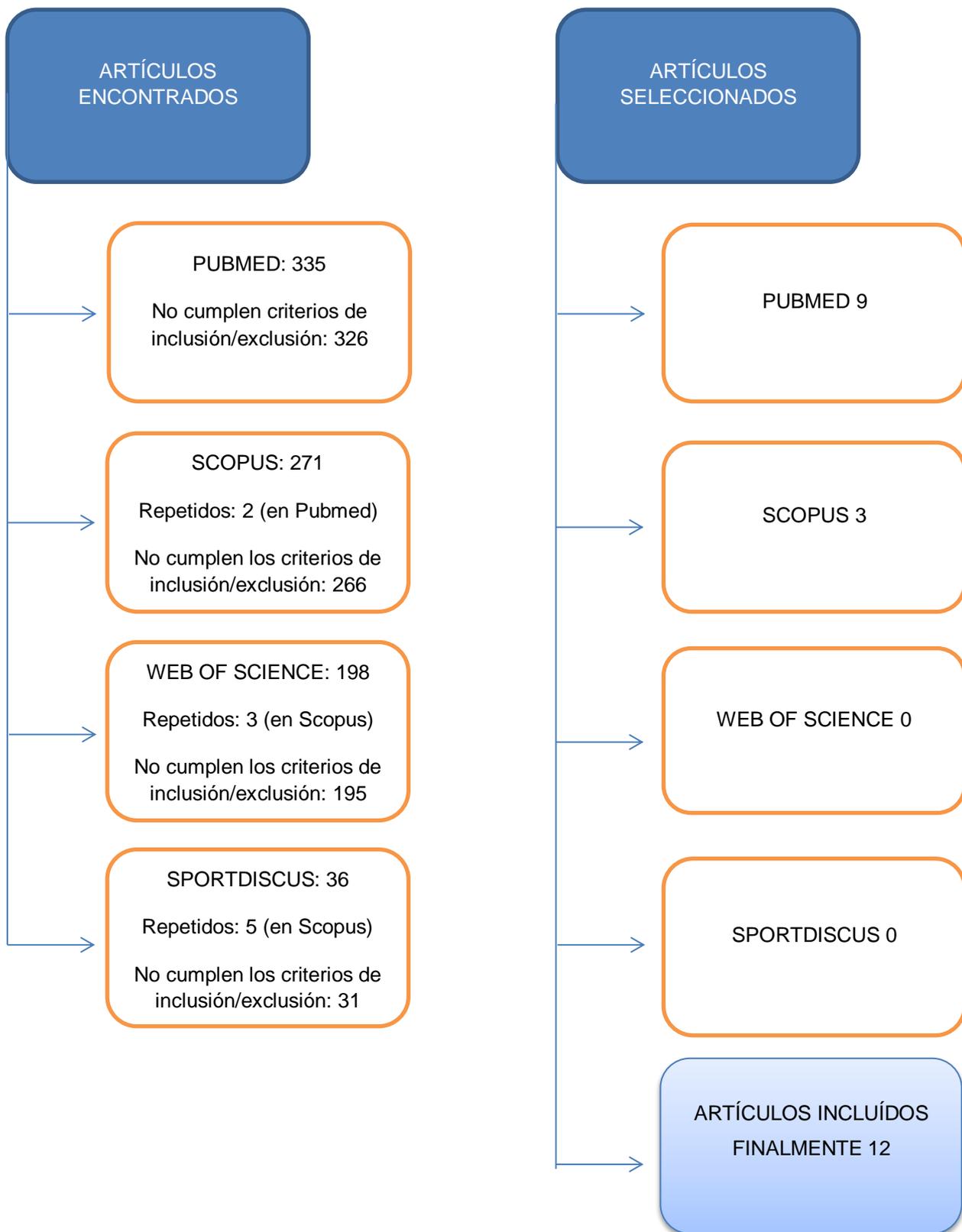


Imagen 1. Diagrama de flujo representando los resultados de la búsqueda bibliográfica en las bases de datos, el número de artículos encontrados, repetidos y los finalmente seleccionados para la revisión

6.2 Evaluación de la calidad metodológica de los estudios

En la Tabla 4 se presenta la puntuación según la escala Oxford (Anexo 1) para los artículos incluidos en esta revisión. Todos los artículos incluidos en esta revisión sistemática poseen un nivel de evidencia 4 y un grado de recomendación C, dado que es la puntuación que asigna dicha escala a los artículos de tipo series de casos y estudios de cohortes y casos y controles de baja calidad.

Tabla 4. Nivel de evidencia y grado de recomendación de los estudios según la escala Oxford

Estudio	Nivel de evidencia	Grado de recomendación
Oberländer et al. ³⁴ (2013)	4	C
Yosmaoglu et al. ³⁵ (2011)	4	C
Oberländer et al. ³⁶ (2014)	4	C
Kuenze et al. ³⁷ (2015)	4	C
Clarke et al. ³⁸ (2014)	4	C
Vairo ³⁹ (2014)	4	C
Otzel et al. ⁴⁰ (2015)	4	C
Holsgaard-Larsen et al. ²² (2014)	4	C
Zampeli et al. ⁴¹ (2012)	4	C
Konishi et al. ⁴² (2012)	4	C
Baczkowicz et al. ⁴³ (2013)	4	C
Webster et al. ²³ (2012)	4	C

Los resultados del análisis de la calidad de las revistas en las que han sido publicados los artículos seleccionados se muestran en la Tabla 5.

La mayoría de las revistas en las que fueron publicados los artículos cuentan con una puntuación en el JCR.

Hay cinco en el cuartil 1 (Q1), cinco en el cuartil 2 (Q2) y dos en el cuartil 3 (Q3), por lo que se puede afirmar que la mayoría de los artículos seleccionados han sido publicados en revistas de alta calidad.

Tabla 5. Calidad metodológica de las revistas en las que han sido publicados los artículos seleccionados, según el JCR o SJR

Estudio	Revista	JCR / SJR	Factor de impacto	Cuartil
Oberländer et al. ³⁴ (2013)	Medicine and science in sports and exercise	JCR	3.983	Q1
Yosmaoglu et al. ³⁵ (2011)	Journal of sport rehabilitation	JCR	1.276	Q3
Oberländer et al. ³⁶ (2014)	Clinical biomechanics	JCR	1.970	Q2
Kuenze et al. ³⁷ (2015)	Journal of athletic training	JCR	2.017	Q2
Clarke et al. ³⁸ (2014)	Medicine and science in sports and exercise	JCR	3.983	Q1
Vairo ³⁹ (2014)	Archives of physical medicine and rehabilitation	JCR	2.565	Q1
Otzel et al. ⁴⁰ (2015)	Physical therapy in sport	JCR	1.653	Q2
Holsgaard-Larsen et al. ²² (2014)	Knee	JCR	1.936	Q2
Zampeli et al. ⁴¹ (2012)	Arthroscopy-The journal of arthroscopic and related surgery	JCR	3.206	Q1
Konishi et al. ⁴² (2012)	Scandinavian journal of medicine & science in sports	JCR	2.896	Q1
Baczkowicz et al. ⁴³ (2013)	Ortopedia, traumatología, rehabilitacja	SJR	0.22	Q3
Webster et al. ²³ (2012)	Clinical biomechanics	JCR	1.970	Q2

6.3 Tipos de estudios

De los 12 estudios incluidos, 9 son estudios transversales de dos cohortes^{22,23,37,38,39,40,41,42,43} y 3 son estudios longitudinales^{34,35,36}.

Los estudios transversales de dos cohortes se caracterizaron por tomar una muestra de pacientes operados y un grupo control, en ambos grupos se realizaron las mismas mediciones y se compararon los resultados. En el estudio de Holsgaard-Larsen et al.²² los pacientes fueron captados del departamento de ortopedia y traumatología del hospital universitario de Odense (Dinamarca) y los controles en una universidad del sur de Dinamarca. Kuenze et al.³⁷ también captaron sus pacientes en el ámbito universitario. En los estudios restantes^{23,38,39,40,41,42,43} no especificaron la procedencia de los sujetos.

En los estudios longitudinales, se hizo un seguimiento de una cohorte de pacientes operados, en los cuales se realizaron varias mediciones a lo largo del tiempo y se compararon los resultados. En los estudios de Oberländer et al.^{34,36} los pacientes fueron captados en el departamento de ortopedia y traumatología deportiva en una clínica de Colonia (Alemania), mientras que Yosmaoglu et al.³⁵ no lo especificaron.

De los estudios incluidos en esta revisión, 10 comparan la pierna operada con la sana contralateral y con los sujetos control^{22,23,36-43}, mientras que 2 estudios comparan sólo la pierna operada con la sana contralateral^{34,35}.

La media del número de participantes por estudio fue de 38,5 pacientes, con un rango de entre 10-48 sujetos. La media del número de sujetos operados por estudio fue de 21,2 pacientes, con un rango de entre 10-35 sujetos. La media del número de sujetos control por estudio fue de 17,3 controles, con un rango de entre 0-37 sujetos.

6.4 Características de los participantes

6.4.1 Características demográficas de los sujetos

En total, en los 12 artículos revisados, participaron 462 sujetos, de los cuáles 254 habían sido operados de una lesión de LCA y 208 fueron controles.

Entre los pacientes operados hubo 156 hombres, 68 mujeres, y 30 sujetos en los que no se especificó el género. En cuanto a los controles, 139 fueron hombres y 69 mujeres.

La edad media de los pacientes incluidos en esta revisión fue de 25,4 para los operados y 24,4 para los controles, con un rango de edad de entre 18-40 años para ambos grupos.

El resumen de las variables demográficas por estudio puede verse reflejado en la Tabla 6.

6.4.2 Tipo de intervención quirúrgica recibida

La intervención quirúrgica aplicada a los participantes de los estudios fue, fundamentalmente, de 3 tipos:

- Injerto cuádruple autólogo de semitendinoso y gracilis: 185 pacientes^{22,34-40,42-44}. Consiste en la extracción parcial de los tendones del semitendinoso y gracilis del paciente, y su posterior plegado para dar un injerto de cuatro bandas que se coloca sustituyendo al LCA roto del paciente.
- Injerto cuádruple alógrafo de semitendinoso y gracilis: 4 pacientes⁴⁰. Consiste en la extracción parcial de los tendones del semitendinoso y gracilis de un cadáver, y su posterior plegado para dar un injerto de cuatro bandas que se coloca sustituyendo el LCA roto del paciente.
- Injerto autólogo de tendón rotuliano: 65 pacientes^{37,38,40,41,44}. Consiste en la extracción del 1/3 medio del tendón rotuliano del paciente junto con sus inserciones óseas en la rótula y tibia, colocándose el injerto sustituyendo el LCA roto del paciente.

En la Tabla 6 se refleja qué tipo de intervención o intervenciones quirúrgicas se realizaron en cada estudio.

6.4.3 Evolución desde la intervención: meses transcurridos desde la reconstrucción del LCA hasta la inclusión de los sujetos en los estudios

En los estudios transversales, las mediciones se realizaron en diferentes lapsos de tiempo: al menos 6 meses postcirugía^{23,37}, al menos 14 meses postcirugía⁴¹, de 11-13 meses postcirugía⁴³, de 12-36 meses postcirugía³⁹, de 18-36 meses postcirugía²², de 18-142 meses postcirugía⁴², de 1,5-5 años postcirugía⁴⁰, y de 2-8 años postcirugía³⁸.

En los estudios longitudinales, estas mediciones fueron realizadas antes de la cirugía, a los 6 y 12 meses postcirugía³⁶, o sólo a los 6 y 12 meses postcirugía^{34,35}.

6.5 Tipo de disfunción neuromusculo-esquelética analizada y tipo de medidas de resultados

Las principales disfunciones neuromusculo-esqueléticas analizadas en los 12 artículos revisados, se centran en dos principales bloques:

- **Disfunciones neuromusculares.**
- **Disfunciones biomecánicas-cinéticas-cinemáticas.**

Se presentan de forma abreviada en la Tabla 6, y se describen de forma detallada en los subapartados 6.5.1 y 6.5.2.

Las **disfunciones neuromusculares** fueron descritas en 7 estudios^{22,34,35,37,39,40,42}.

En ellos, las herramientas de registro empleadas para la recolección de datos relacionados con estas disfunciones fueron:

- la dinamometría^{22,34,35,37,39,40,42}.
- la medición centimétrica^{35,40}.
- la electromiografía³⁷.
- la resonancia magnética nuclear⁴².

Las pruebas funcionales y otras mediciones empleadas consistieron en la realización de contracciones isométricas^{34,37,40} (Imagen 2) e isocinéticas^{22,35,39,42}, pruebas de reflejos³⁷, umbral de activación³⁷ y ratios de activación central musculares^{37,40}.

Las **disfunciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas** fueron analizadas por 8 estudios^{22,23,34-36,38,41,43}.

En estos estudios, las herramientas de registro empleadas para la recolección de datos relacionados con estas disfunciones fueron:

- sensores de movimiento^{22,23,34-36,38,41},
- plataforma de fuerzas^{22,23,34,36,38,41,43}.
- resonancia magnética nuclear⁴¹.

Las pruebas funcionales y otras mediciones empleadas consistieron en la realización de saltos monopodales hacia adelante^{22,23,34-36}(Imagen 4), aterrizajes^{23,38}, pasos laterales sin anticipar³⁸(Imagen 3), saltos verticales bipodales y monopodales²², pivotajes⁴¹(Imagen 5), apoyos bipodales y monopodales⁴³.

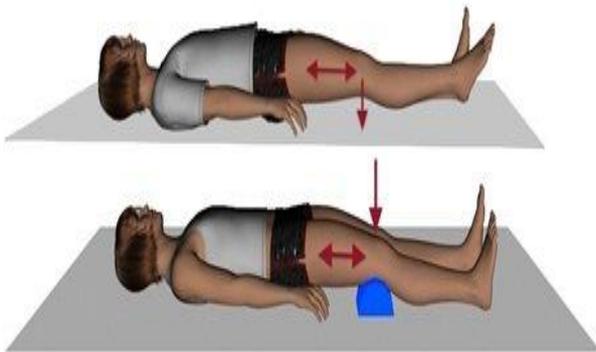


Imagen 2. Contracción isométrica



Imagen 3. Paso lateral



Imagen 4. Salto monopodal hacia adelante

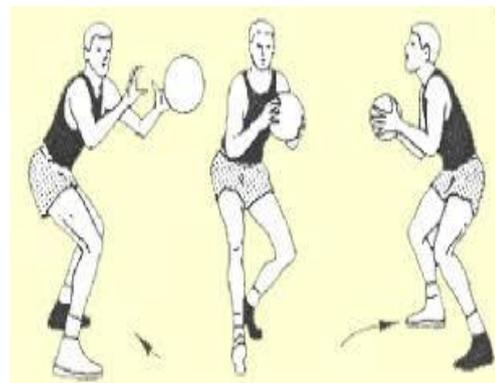


Imagen 5. Pivotajes

Tabla 6. Resultados relativos a características sociodemográficas, tipo de intervención quirúrgica, disfunción neuromusculoesquelética, herramientas de registro y pruebas funcionales empleadas en los estudios revisados

Estudio	Características demográficas	Tipo de intervención quirúrgica recibida	Disfunción neuromusculoesquelética analizada	Tipo de herramienta de registro utilizada	Pruebas funcionales y otras mediciones empleadas
Oberländer et al. ³⁴ (2013)	10 O Re=21-35, Em=28	CAuS+G	NM, B y CC	SM, PF y DM	SMHA, CisomCua
Yosmaoglu et al. ³⁵ (2011)	20 O Re=18-38, Em=29,3	CAuS+G	NM, B y CC	SM, DM y MCent	SMHA, CisocCua y CisocIT
Oberländer et al. ³⁶ (2014)	18♂O y 12♂C ReO=20-32, ReC=23-27 EmO=26, EmC=25	CAuS+G	B y CC	SM y PF	SMHA
Kuenze et al. ³⁷ (2015)	12♂O, 10♀O, 12♂C y 12♀C Re=18-40, EmO=22,5, EmC=21,7	12 CAuS+G y 10 TR	NM	EMG y DM	CisomCua, RefCua, UAMCua y RACCua
Clarke et al. ³⁸ (2014)	9♂O, 9♀O, 9♂C y 9♀C ReO=22-30, ReC=19-25 EmO=24, EmC=22	17 CAuS+G y 1 TR	B y CC	SM y PF	Aterrizaje bipodal (30 cm) y PL sin anticipar
Vairo ³⁹ (2014)	15♀O y 15♀C Re=18-35, EmO=20,5, EmC=21	CAuS+G	NM	DM	CisocIT
Otzel et al. ⁴⁰ (2015)	11♂O, 13♀O, 12♂C y 11♀C ReO=18-23, ReC=20-22 EmO=20,9, EmC=21,7	2 CAuS+G, 4 CAIS+G y 18 TR	NM	DM y MCent	CisomCua y RACCua
Holsgaard-Larsen et al. ²² (2014)	23♂O y 25♂C Re=18-25, Em=27,2	CAuS+G	NM, B y CC	SM, PF y DM	SMHA, SVB, SVM, CisocCua y CisocIT

Zampeli et al. ⁴¹ (2012)	19♂O y 19♂C ReO=18-38, ReC= 24-37 EmO=29, EmC=30,6	TR	B y CC	SM, PF y RMN	Pivotaje tras descenso de escaleras y tras aterrizaje bipodal (40 cm)
Konishi et al. ⁴² (2012)	13♂O, 11♀O, 13♂C y 9♀C Re=18-30, EmO=24, EmC=24,3	CAuS+G	NM	DM y RMN	CisocCua
Baczkowicz et al. ⁴³ (2013)	19♂O, 7♀O, 26♂C y 11♀C Re=22-34, ReC=22-32 EmO=28,4, EmC=27,3	CAuS+G	B y CC	PF	AB y AM
Webster et al. ²³ (2012)	32♂O, 3♀O, 11♂C y 2♀C Re=18-40 EmO=25,1 EmC=23,1	18 CAuS+G y 17 TR	B y CC	SM y PF	SMHA y aterrizaje monopodal (15cm)

P: Pacientes. C: Controles. O: Operados. ♂: Hombres. ♀: Mujeres. Re: Rango de edad. ReO: Rango de edad de operados. ReC: Rango de edad de controles. Em: Edad media. CAuS+G: Injerto cuádruple autólogo de semitendinoso y gracilis. CAIS+G: Injerto cuádruple alógrafa de semitendinoso y gracilis. TR: Injerto de tendón rotuliano. NM: Neuromuscular. B: Biomecánica. CC: Cinética y cinemática. SM: Sensores de movimiento. PF: Plataforma de fuerzas. DM: Dinamometría. Mcent: Medición centimétrica. EMG: Electromiografía. RMN: Resonancia magnética nuclear. SMHA: Salto monopodal hacia adelante. CisomCua: Contracción isométrica de cuádriceps. CisocCua: Contracción isocinética de cuádriceps. CisocIT: Contracción isocinética de isquiotibiales. RefCua: Reflejo de cuádriceps. UAMCua: Umbral de activación motor de cuádriceps. RACCua: Ratio de activación central de cuádriceps. PL: Paso lateral. SVB: Salto vertical bipodal. SVM: Salto vertical monopodal. AB: Apoyo bipodal. AM: Apoyo monopodal.

6.5.1. Alteraciones neuromusculares encontradas en el miembro inferior tras cirugía de LCA

Tal como se citaba anteriormente, las disfunciones neuromusculares fueron descritas en 7 estudios^{22,34,35,37,39,40,42}.

El cuádriceps femoral e isquiotibiales fueron los músculos más investigados en los estudios incluidos en esta revisión, con un predominio de estudios sobre el músculo cuádriceps.

Estudios sobre el músculo cuádriceps femoral:

- Oberländer et al³⁴, Kuenze et al³⁷ y Otzel et al⁴⁰ midieron a través de un dinamómetro la fuerza muscular generada por la contracción isométrica de cuádriceps.

Oberländer et al³⁴ encontraron una disminución de la fuerza del cuádriceps en la pierna operada respecto a la pierna sana de los pacientes operados a los 12 meses de la cirugía. Kuenze et al³⁷ también encontraron los mismos resultados entre la pierna operada y la sana de los operados, además de determinar que este déficit de fuerza muscular existe en ambos cuádriceps de los pacientes operados (pierna operada y sana) respecto a los sujetos controles. Otzel et al⁴⁰ realizaron una medición del pico de torque extensor durante la contracción isométrica, encontrando un pico de torque extensor más normalizado en los hombres operados que en las mujeres operadas. El pico de torque extensor se encontró disminuido en la pierna operada respecto a la sana, además de un déficit en la fuerza de un 7%-8% entre ambas piernas, siendo esta diferencia mayor en las mujeres operadas.

- Yosmaoglu et al³⁵, Holsgaard-Larsen et al²² y Konishi et al⁴² realizaron una medición dinamométrica tras pedir a los sujetos una contracción isocinética de cuádriceps.

Yosmaoglu et al³⁵ encontraron déficit en la fuerza isocinética y alteración de la coordinación motora en la pierna operada respecto a la pierna sana que no se modifica desde el 6º al 12º mes tras la cirugía. Este déficit también es confirmado por Holsgaard-Larsen et al²², que además añaden que en los controles no existen diferencias entre ambos miembros y que la asimetría entre

los miembros inferiores es mayor en los pacientes operados que en los controles. Konishi et al⁴², por el contrario, no encontró diferencias en el torque isocinético, ni en el volumen muscular medido a través de resonancia magnética, ni en la media de torque por volumen del cuádriceps entre la pierna operada, sana y sujetos controles.

- Kuenze et al³⁷ y Otzel et al⁴⁰, investigaron cual era el ratio de activación central (RAC) del cuádriceps, que resulta de dividir la máxima contracción isométrica voluntaria entre la máxima contracción isométrica voluntaria sumada a una estimulación eléctrica (MCIV/MCIV + estimulación eléctrica).

Kuenze et al³⁷ determinaron que existe un RAC disminuido en la pierna operada respecto a la sana y en los sujetos operados respecto a los controles. Otzel et al⁴⁰ confirmaron los mismo hallazgos en cuanto a la pierna operada respecto a la sana, además de determinar que no existían diferencias significativas en el RAC de los hombres y mujeres controles.

Kuenze et al³⁷ comprobaron además el umbral de activación motor del cuádriceps y del reflejo cuadrípital, llegando a las mismas conclusiones que en el RAC.

La medición centimétrica fue la herramienta utilizada por Otzel et al⁴⁰ para determinar el volumen muscular del cuádriceps. Encontraron que la circunferencia del muslo era igual en la pierna operada y la pierna sana, mientras que la misma medida era mayor en los hombres controles respecto a las mujeres controles.

Estudios sobre los isquiotibiales:

- La musculatura isquiotibial fue analizada a través de su contracción isocinética por los estudios de Yosmaoglu et al³⁵, Vairo³⁹ y Holsgaard-Larsen et al²², con la ayuda de un dinamómetro.

Yosmaoglu et al³⁵ llegaron a las mismas conclusiones que en el caso del cuádriceps, menor fuerza en los isquiotibiales en el periodo de 6 a 12 meses

posterior a la cirugía y descoordinación motora entre isquiotibiales y cuádriceps que no se reduce en este rango de tiempo.

Vairo³⁹ detectó un descenso en la fuerza total de la pierna operada respecto a los sujetos controles. También encontró disminuido el pico de fuerza isocinético en relación al rango de movimiento de la rodilla, concretamente a los 105° de flexión en la pierna operada respecto a la pierna sana y a los sujetos controles. Este estudio asegura que el descenso del pico de fuerza de los isquiotibiales a 105° de flexión de rodilla es predictor de aumento del dolor y de la sintomatología y, de menor funcionalidad.

Holsgaard-Larsen et al²² también llegaron a los mismos hallazgos que en el caso del cuádriceps: disminución de la fuerza en isquiotibiales en la pierna operada respecto a la sana y sin diferencias en los sujetos controles, e índice de asimetría mayor en los sujetos operados que en controles. El cálculo de este índice se realiza en base a las diferencias encontradas tanto en el ámbito neuromuscular como en el biomecánico, cinético y cinemático.

6.5.2. Alteraciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas encontradas en el miembro inferior tras cirugía de LCA

Tal como se citaba anteriormente, las **disfunciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas** fueron analizadas por 8 estudios^{22,23,34-36,38,41,43}.

Entre las pruebas funcionales empleadas para evaluar este tipo de disfunciones, la prueba de salto monopodal hacia adelante (SMHA) fue la más utilizada en los estudios seleccionados^{22,23,34-36}, aunque otras pruebas, tales como el aterrizaje^{23,38}, los pasos laterales sin anticipar³⁸, los saltos verticales bipodales y monopodales²², pivotajes⁴¹, y los apoyos bipodales y monopodales⁴³, fueron citadas en al menos un estudio.

A su vez, las herramientas empleadas para realizar las mediciones fueron, fundamentalmente, los sensores de movimiento^{22,23,34-36,38,41} y las plataformas de fuerza^{22,23,34,36,38,41,43}.

Presentamos los resultados en relación a las pruebas funcionales por ser éstas la metodología de evaluación más frecuente para detectar las disfunciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas.

Estudios con prueba de salto monopodal hacia delante:

Oberländer et al³⁴ encontraron que durante la realización de esta prueba se produce una mayor absorción de fuerzas y tiempo de actuación de la fuerza de reacción de suelo sobre el tobillo y la cadera, mientras que disminuye en la rodilla operada con respecto a la sana a los 6 meses tras cirugía. Además, se produce un aumento de la flexión de tronco y se trasladan anteriormente las cargas en el miembro inferior operado. Estas alteraciones no se normalizan, pero sí mejoran a los 12 meses tras la cirugía. En un estudio posterior, Oberländer et al³⁶ especificaron sobre su estudio anterior que se produce un aumento de la flexión y aducción de rodilla y dorsiflexión de tobillo durante la amortiguación en la pierna operada respecto a la sana, independientemente del momento del tiempo en el que se realice la medición. En la pierna operada se produce también un aumento de la rotación externa y de la traslación anterior de la tibia respecto al fémur, mientras que en los sujetos control no existen diferencias significativas entre ambas piernas.

Yosmaoglu et al³⁵ encontraron que durante la realización del SMHA se produce menor alcance (en centímetros) en la pierna operada que en la sana a los 6 y 12 meses tras la cirugía.

Lo mismo afirmaron Holsgaard-Larsen et al²², que encontraron una diferencia en el alcance del salto de 10,5 cm en la pierna operada respecto a la sana y de 3,2 cm en la pierna dominante respecto a la no dominante en los sujetos control durante el SMHA.

Webster et al²³ realizaron un análisis entre diferentes tipos de injertos y sujetos controles, encontrando que existe una mayor flexión de rodilla en las piernas operadas con injerto de tendón rotuliano que en las operadas con injerto cuádruple autólogo de semitendinoso y gracilis; y que en los sujetos control. La rotación interna tibial estaba disminuida en la pierna operada respecto, a la pierna sana y a los sujetos control, durante la fase de contacto del SMHA.

Estudios con la prueba de aterrizaje:

Clarke et al³⁸ comprobaron, mediante un aterrizaje bipodal desde una plataforma a 30 cm de altura, que no existían diferencias significativas entre ambos miembros inferiores en los pacientes operados. Los sujetos control presentaban mayor extensión de cadera, mayor rango de movimiento en el plano frontal y de rotación de rodilla que en la pierna afecta de los pacientes operados en los primeros 40 milisegundos del aterrizaje. Observaron además un mayor momento extensor en los controles, que tiene como consecuencia un aumento de la resistencia a la flexión de rodilla.

Webster et al²³ no encontraron diferencias en la posición estática del paciente ni en el pico de flexión de rodilla operada durante la realización de un aterrizaje monopodal desde una plataforma a 15 cm del suelo. Apreciaron un aumento de la flexión de rodilla en la pierna sana de los pacientes operados con injerto de tendón rotuliano respecto a los operados con el injerto cuádruple autólogo de semitendinoso y gracilis, y respecto a los sujetos control. Además, la rotación interna se encontró disminuida en la pierna operada respecto a la sana y a los controles. Este mismo hallazgo apareció en la pierna operada de los pacientes que recibieron injerto cuádruple de tendinoso y gracilis respecto a los que lo recibieron del tendón rotuliano y a los controles.

Estudio con la prueba de paso lateral sin anticipar:

Clarke et al³⁸ investigaron la funcionalidad del miembro inferior durante la realización de un paso lateral sin anticipar por parte de los sujetos, encontrando una mayor flexión y momento abductor en la rodilla operada respecto a los controles. En la cadera, se detectó mayor flexión, menor rango de movimiento en el plano transversal y menor momento extensor en la pierna operada respecto a los sujetos control.

Estudio con la prueba de saltos verticales:

Los saltos verticales, tanto bipodales como monopodales, fueron analizados por Holsgaard-Larsen et al²². Sus principales hallazgos durante el salto vertical

bipodal fueron la disminución del rango de movimiento en la pierna operada respecto a la sana de los pacientes que habían recibido cirugía, y en la pierna dominante respecto a la no dominante en los controles. La disminución de la flexión de rodilla se produce en la pierna operada respecto a la sana en pacientes operados, y en la pierna dominante respecto a la no dominante en los sujetos control. En el salto vertical monopodal, el rango de movimiento en la rodilla operada se encuentra disminuido respecto a la sana, mientras que en los controles no existen diferencias entre ambos miembros inferiores. El ratio de asimetría entre miembros inferiores es mayor en los operados que en los controles.

Estudio con la prueba de pivotaje:

Zampeli et al⁴¹ comprobaron el comportamiento del miembro inferior durante la actividad de pivotaje tras descender escaleras y tras realizar un aterrizaje bipodal desde una plataforma a 40 cm de altura. Además, midieron mediante resonancia magnética el ángulo de inserción de los injertos de los pacientes operados. Para el ángulo coronal encontraron valores comprendidos entre 54,3° - 68°, y para el sagital entre 50,5° - 62,5°. En ambas pruebas se detectó un aumento de rotación tibial en la rodilla operada respecto a la sana y a los sujetos control, sin hallar diferencias tampoco entre la pierna sana de los sujetos operados y los controles. Mediante cálculos estadísticos, concluyen que existe una correlación directa entre la disminución de la rotación tibial y el mayor ángulo de inserción coronal del injerto, mientras que no existe relación alguna con el ángulo de inserción sagital.

Estudio con la prueba de apoyo bipodal y monopodal:

Baczkowicz et al⁴³ emplearon una plataforma de fuerzas para medir las diferencias existentes entre operados y sanos durante un apoyo bipodal y monopodal. Durante el apoyo bipodal se produce un aumento de la inclinación total y anteroposterior de la plataforma en los pacientes operados respecto a los controles, mientras que no aparecen cambios en el plano mediolateral. En la estancia monopodal sobre la pierna operada, todos los parámetros se encuentran aumentados respecto a los sujetos control. Además existen mayores diferencias en los valores entre operados y controles cuando la pierna operada es la no dominante. Cuando la pierna en apoyo es la sana y no dominante,

existe un aumento importante de la inclinación anteroposterior respecto a la pierna no dominante en controles, mientras que no existen diferencias significativas cuando la pierna sana es la dominante. La inclinación total se encuentra aumentada cuando el apoyo monopodal es sobre la pierna operada respecto a cuando dicho apoyo es sobre la sana. Por último, concluyeron que la inclinación total y medio lateral está aumentada en los controles cuando el apoyo es sobre la pierna dominante respecto a la no dominante, mientras que no existen diferencias en los pacientes operados en este aspecto.

Los resultados se presentan de forma abreviada en la Tabla 7.

Tabla 7. Resumen de los resultados de los estudios agrupados según el tipo de disfunción neuromusculo-esquelética analizada

Estudio	Resultados	
	Neuromusculares	Biomecánicos, cinéticos y cinemáticos
Oberländer et al. ³⁴ (2013)	↓ Fuerza isométrica en Cua PiO respecto PiS a los 12 meses.	↑ Absorción de fuerzas y tiempo de actuación de FRS en cadera-tobillo y ↓ en rodilla de PiO respecto PiS a los 6 meses. Diferencia de absorción de fuerzas y FRS ↓ en PiO respecto a PiS a los 12 meses. ↑ FT y TA de cargas en PiO durante recepción.
Yosmaoglu et al. ³⁵ (2011)	↓ Déficit fuerza isocinética y en PiO respecto PiS de 6º a 12º mes. Diferencia CM no disminuye entre ambas piernas entre 6º y 12º mes.	Déficit de distancia alcanzada SMHA en PiO respecto PiS de 6º a 12º mes.
Oberländer et al. ³⁶ (2014)		↑ Flexión y aducción de rodilla y dorsiflexión de tobillo durante amortiguación en PiO respecto PiS sin diferencias según el momento de medición. ↑ Rotación externa y traslación anterior en tibia respecto a fémur de PiO. En C no existen diferencias significativas entre ambas piernas.
Kuenze et al. ³⁷ (2015)	↓ Fuerza isométrica, RAC y UAM en Cua de ambas piernas en O respecto a C y en PiO respecto a PiS. ↑ Intensidad eléctrica para activación RefCua en PiO. ↑ Índice de asimetría entre piernas en O respecto a C en los parámetros estudiados.	
Clarke et al. ³⁸ (2014)		Sin diferencias entre ambas piernas en O durante aterrizaje. ↑ Extensión de cadera, ROM en plano frontal y rotación de rodilla en C respecto PiO en los primeros 40 ms de aterrizaje. ↑ Extensión en miembro inferior en C respecto a PiO, ↑ por tanto de la resistencia a la flexión de rodilla.

		En el paso lateral, ↑ flexión y momento aductor en rodilla, ↑ flexión ↓ ROM en plano transverso y momento extensor en cadera en PiO respecto a C.
Vairo³⁹(2014)	<p>↓ Fuerza isocinética total de IT en PiO respecto a C.</p> <p>↓ Pico de fuerza en relación al ROM, a 105° de flexión de rodilla en PiO respecto a PiS y C.</p> <p>El pico de fuerza a 105° es predictor de ↑ dolor, ↑ síntomas y ↓ de funcionalidad.</p>	
Otzel et al.⁴⁰(2015)	<p>♂ O Pico de torque extensor más normalizado respecto a ♀ O.</p> <p>↓ Pico de torque extensor y 7%-8% déficit de fuerza isométrica en PiO respecto a PiS, habiendo ↑ diferencia en ♀.</p> <p>↓ RACCua en PiO respecto a PiS. RACCua en ♂C=♀C.</p> <p>Circunferencia en muslo PiO=PiS.</p> <p>↑ Circunferencia muslo en ♂C respecto a ♀C.</p>	
Holsgaard-Larsen et al.²²(2014)	<p>↓ Fuerza isocinética en Cua e IT en PiO respecto a PiS, sin diferencias en C.</p> <p>↑ Índice de asimetría entre miembros en O que en C.</p>	<p>En SMHA diferencia de 10,5 cm de PiO respecto a PiS y 3,2 cm entre PD y PnD de los C.</p> <p>En SVB ↓ ROM en PiO respecto a PiS y en PD respecto a PnD de los C; ↓ flexión de rodilla de PiO respecto a PiS y de PD respecto a PnD de los C.</p> <p>En SVM ↓ ROM en rodilla de PiO respecto a PiS y sin diferencias en C.</p>
Zampeli et al.⁴¹(2012)		<p>El ACII varió entre 54,3°-68° y el ASII entre 50,5°-62,5°.</p> <p>↑ De rotación tibial en PiO respecto a C, sin diferencias entre PiS y C.</p> <p>Correlación directa entre ↑ oblicuidad de ACII y ↓ de rotación tibial. Sin correlación con ASII.</p>

Konishi et al.⁴²(2012)	Sin diferencias significativas en volumen muscular, torque isocinético ni media de torque por volumen entre PiO, PiS y C.	
Baczkowicz et al.⁴³(2013)		En AB ↑ de índice de inclinación total y anteroposterior en O respecto a C, sin diferencias en plano mediolateral. ↑ De todos los parámetros durante el apoyo en PiO respecto a C. Cuando la PiO es la PnD los valores de inclinación muy ↑ en todos los planos que si es la PD, en comparación con los C. En el apoyo sobre la PiS, cuando es la PnD, en los O ↑ de la inclinación en plano anteroposterior respecto a PnD en C. ↑ De la inclinación total en PiO respecto a PiS. En los C la inclinación total y mediolateral ↑ en PD respecto a PnD, sin diferencias en O.
Webster et al.²³(2012)		Sin diferencias en posición estática ni en pico de flexión de rodilla durante el aterrizaje monopodal entre grupos. ↑ Flexión de rodilla en PiS de O con TR respecto a O con CAuS+G y C durante las pruebas. ↓ Rotación interna tibial en PiO de O respecto a PiS y a C en ambas pruebas y en PiO con CAuS+G respecto a PiO con TR y C durante el aterrizaje monopodal.

♂: Hombres. ♀: Mujeres. O: Operados. C: Controles. ↑: Aumento. ↓: Disminución. PiO: Pierna operada. PiS: Pierna sana. PD: Pierna dominante. PnD: Pierna no dominante. Cua: Cuádriceps. IT: Isquiotibiales. CM: Coordinación motora. RAC: Ratio de activación central. UAM: Umbral de activación motor. RefCua: Reflejo del cuádriceps. RACCua: Ratio de activación central de cuádriceps. FRS: Fuerza de reacción del suelo. FT: Flexión de tronco. TA: Traslación anterior. SMHA: Salto monopodal hacia adelante. ROM: Amplitud/rango de movimiento. SVB: Salto vertical bipodal. SVM: Salto vertical monopodal. AB: Apoyo bipodal. ACII: Ángulo coronal de inserción del injerto. ASII: Ángulo sagital de inserción del injerto. TR: Injerto de tendón rotuliano. CAuS+G: Injerto cuádruple autólogo de semitendinoso y gracilis.

7. DISCUSIÓN

El objetivo de la presente revisión fue identificar las alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas en el miembro inferior operado de RLCA en comparación con la pierna sana del paciente y/o en comparación con sujetos control. En este sentido, todos los estudios revisados a excepción del de Konishi et al⁴² demostraron la presencia de una u otra de éstas disfunciones.

Sobre el **nivel de evidencia científica, el grado de recomendación de los estudios encontrados, y sobre la calidad de las revistas** en las que han sido publicados tales estudios, se observa que éstos tienen un nivel de evidencia 4 y un grado de recomendación C según la escala Oxford. En cuanto a la calidad metodológica de las revistas, dado que la mayoría se encuentran en el cuartil 1(Q1) y en el cuartil 2(Q2), consideramos que es elevado.

Sobre la escala Oxford utilizada para evaluar la calidad de los estudios, sólo nos permite considerarlos de baja calidad. No obstante, cabe destacar que dicha escala no presenta una definición clara que incluya los estudios longitudinales y transversales de 2 cohortes, mayoritarios en esta revisión.

En relación al **tipo de estudio** todos son observacionales (longitudinales o transversales), ya que el tema objeto de análisis no permite un abordaje experimental al no poder aplicarse deliberadamente una intervención quirúrgica para analizar sus consecuencias. Es por ello que estos estudios no pueden contar con el mismo nivel de evidencia que, por ejemplo, un ensayo clínico. La principal ventaja de los estudios transversales es que son económicos al no aplicar una intervención ni realizar un seguimiento de los pacientes. Ofrecen a su vez, una “imagen estática” de las alteraciones posquirúrgicas que sufren los pacientes. Los estudios longitudinales son más caros pero al seguir a la cohorte de pacientes y realizar varias mediciones a lo largo del tiempo nos permiten observar cómo van variando las diferentes alteraciones. En este caso, otra de las desventajas de los estudios longitudinales es que, salvo uno de ellos³⁶, ninguno realiza una comparación con sujetos controles para comprobar cómo se comporta el miembro inferior en condiciones de normalidad, aspecto que sí aportan los estudios transversales incluidos. El número de participantes en cada estudio osciló entre 10-48, cantidad suficiente para eliminar el componente de azar que pudiese darse en los resultados.

Sobre las **características de los participantes** cabe destacar que son pacientes jóvenes y deportistas. Esto es debido a que esta lesión traumática tiene gran incidencia en el ámbito deportivo, donde la gran variedad de movimiento y exigencias físicas generan gran estrés en el organismo. La incidencia en sujetos ancianos o no deportistas es prácticamente nula.

En relación al el **tipo de disfunciones neuromusculoesqueléticas** identificadas cabe destacar que en el estudio de las disfunciones neuromusculares la musculatura más investigada ha sido la isquiotibial y el cuádriceps. Esto es debido a que es la musculatura clave en la mecánica de la rodilla y la más potente de todo el miembro inferior. En el ámbito biomecánico, cinético y cinemático la rodilla es la articulación más estudiada, seguida de la cadera. Esto se debe a que la cadera es la articulación más móvil del miembro inferior y la que más capacidad tiene para realizar las compensaciones necesarias para un correcto funcionamiento del miembro inferior en caso de disfunciones en otros segmentos.

Cabe destacar que muchos de los estudios que han investigado las **disfunciones neuromusculares** en estos pacientes, lo han hecho midiendo la fuerza isométrica, isocinética, torque de fuerza, ratio de activación central, umbral de activación motor y coordinación motora **del músculo cuádriceps** demostrando diferencias significativas entre los sujetos operados respecto a los controles, o entre la pierna sana vs pierna operada entre aquellos que habían sido intervenidos.

En cuanto a la fuerza isométrica del cuádriceps, son varios los autores^{34,37,40} que coinciden en que está disminuida, bien en la pierna operada respecto a la sana^{34,37,40}, o bien respecto a los sujetos control³⁷.

En cuanto a la fuerza isocinética del cuádriceps, los autores de dos estudios^{22,35} también encontraron menor fuerza en el miembro inferior postquirúrgico que en el contralateral sano.

Sobre el pico de torque extensor del cuádriceps se encontró igualmente, una disminución en la pierna operada en comparación a la sana⁴⁰. No obstante, en este aspecto, existen resultados contrapuestos porque Konishi et al⁴² no encontraron diferencias significativas en el torque isocinético entre la pierna operada, la pierna contralateral sana y los sujetos control.

A su vez, tanto el ratio de activación central como en el umbral de activación motor del cuádriceps se encontraron disminuidos en la pierna operada respecto a la sana y en ambas piernas de los pacientes operados respecto a los sujetos control³⁷, y, que se requiere una mayor intensidad eléctrica para desencadenar el reflejo cuadricepital³⁷.

En conjunto, estos estudios sobre las disfunciones neuromusculares del cuádriceps parecen indicar que existe disminución de fuerza, tanto isométrica como isocinética, y del pico de torque extensor. Este músculo cuádriceps pierde su capacidad para generar, de forma voluntaria, la misma contracción muscular que en condiciones normales, debido a la disminución en la fuerza y al menor ratio de activación central y de umbral de activación motor.

En relación a las **diferencias por sexo**, los hallazgos son diferentes en función de la medición realizada sobre el cuádriceps. Oberländer et al³⁴ y Otzel et al⁴⁰ han encontrado diferencias en la fuerza isométrica entre hombres y mujeres. Sin embargo, en el ratio de activación central se ha demostrado que no existen diferencias, dependientes del sexo, en los sujetos operados⁴⁰. Estos resultados parecen sugerir que en las mujeres se produce una peor recuperación neuromuscular tras la cirugía de LCA.

Entre los estudios que han analizado las **disfunciones neuromusculares sobre los isquiotibiales**, hay coincidencia entre los autores^{22,35,39} sobre la reducción en la fuerza isocinética de la musculatura isquiotibial en la pierna operada respecto a la contralateral sana y a los sujetos control. Además, Vairo³⁹ encontró un menor pico de fuerza en la pierna operada a los 105° de flexión de rodilla, lo que resultó predictor de aumento de dolor, sintomatología y disminución de la funcionalidad.

Adicionalmente, aquellos estudios^{40,42} que aplicaron mediciones centimétricas para identificar **diferencias en el volumen muscular del muslo**, no encontraron diferencias

en la circunferencia del muslo operado respecto al sano⁴⁰, ni en el volumen del muslo operado comparándolo tanto con el de la pierna sana contralateral como con el de los sujetos control⁴². No obstante, un dato importante a tener en cuenta es que tanto Kuenze et al³⁷ como Holsgaard-Larsen et al²² encontraron un mayor índice de asimetría entre los miembros inferiores de los pacientes operados que en los controles.

Todos los hallazgos anteriores sobre las **alteraciones neuromusculares**, determinan que existe una alteración en los mecanismos de control motor muscular tras la lesión, que no se restablecen después de la cirugía. Buena prueba de ello es el hecho de que, a pesar de que el volumen muscular y circunferencia del muslo se encuentran conservados, la fuerza total y picos de fuerza ejercidos por la musculatura extensora y flexora de rodilla son menores que en la pierna sana o sujetos controles. Además, la coordinación motora entre flexores y extensores de rodilla permanece alterada y sin signos de mejoría entre el 6º y 12º mes tras la cirugía³⁵ por lo que es una muestra de que se produce una falta de inhibición recíproca entre musculatura sinergista. Esta musculatura es clave en la estabilización de la rodilla, por lo que su disfunción puede generar problemas importantes, sobre todo en la reintroducción a la actividad deportiva, en la cual la musculatura tiene niveles de exigencia muy altos.

En cuanto a las **pruebas funcionales más empleadas para analizar las disfunciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas** del miembro inferior, el salto monopodal hacia adelante (SMHA) fue, con diferencia, la prueba más utilizada por los autores a la hora de valorar la biomecánica, cinética y cinemática del miembro inferior^{22,23,34-36}. Esto es debido a la facilidad de ejecución de la prueba y a que puede poner de manifiesto alteraciones durante dos fases que son clave en las actividades deportivas, el impulso y el aterrizaje.

Uno de los hallazgos identificados con el SMHA, y, en el que coinciden varios autores es que los sujetos operados alcanzan una menor **longitud de salto**. Yosmaoglu et al³⁵ encontraron que la distancia alcanzada en centímetros durante el salto es menor en la pierna operada que en la contralateral sana entre el 6º y 12º mes. La diferencia encontrada por Holsgaard-Larsen et al²² fue de 10,5 cm menos en la pierna operada que en la sana. Esto puede ser debido tanto a los déficits de fuerza musculares comentados anteriormente como a los hallazgos de Oberländer et al³⁴, que detectaron un aumento de la absorción de fuerzas y tiempo de actuación de las fuerzas de reacción del suelo en cadera y tobillo, y una traslación anterior de las cargas mediante una flexión excesiva de

tronco durante la recepción para reducir la carga sobre la rodilla operada al 6º mes postcirugía. Estas diferencias, aunque se reducen a partir del 12º mes postcirugía, nunca llegan a los valores de la pierna sana. Las diferencias parecen ser debidas tanto a la disminución de la fuerza encontrada en musculatura clave durante la ejecución del salto, el cuádriceps, como a una actitud de evitación de la máxima cantidad de carga sobre la rodilla, carga que debe de ser absorbida por otras articulaciones.

Otros hallazgos identificados durante la realización del SMHA fueron las **diferencias en las amplitudes articulares de determinados movimientos del miembro inferior**. Oberländer et al³⁶ analizaron más concretamente la biomecánica de cada articulación del miembro inferior durante la realización del SMHA, y encontraron un aumento de la flexión, aducción, rotación externa en la rodilla; un aumento de la traslación anterior de la tibia sobre el fémur; y un aumento de la dorsiflexión en la articulación del tobillo, todo esto en comparación a la pierna sana contralateral. Webster et al²³, que utilizaron tanto el SMHA como una maniobra de aterrizaje monopodal, también identificaron una disminución de la rotación interna tibial en la pierna operada respecto a la contralateral y a sujetos control. Estos últimos autores encontraron además, que la rotación interna estaba más disminuida en los pacientes operados con injerto de semitendinoso y gracilis que en los que recibieron un injerto del tendón rotuliano. Identificaron incluso que, las diferencias también afectaban a la pierna sana, ya que se producía un incremento mayor de la flexión de rodilla en la pierna sana contralateral como forma de compensación en aquellos pacientes que recibieron un injerto de tendón rotuliano.

Clarke et al³⁸ realizaron en su estudio un análisis biomecánico durante un **aterrizaje bipodal**, no encontrando en este caso diferencias entre ambas piernas en los pacientes operados. Sin embargo, sí encontraron mayor extensión en el miembro inferior en los pacientes controles respecto a los operados. Esto significa que el aterrizaje es más normalizado que en los pacientes operados, ya que no se realizan compensaciones en el resto de articulaciones del miembro inferior para descargar a la rodilla de la mayor cantidad de carga posible. Clarke et al³⁸ también analiza el **paso lateral sin anticipar**, encontrando los mismos hallazgos que en los estudios anteriormente citados: mayor flexión y momento aductor en la rodilla y menor momento extensor y rango de movimiento en el plano transversal de todo el miembro inferior de los pacientes operados respecto a los controles. Por lo tanto, las compensaciones que aparecen en ambas

pruebas funcionales están orientadas a reducir el estrés sobre la rodilla a costa de aumentarlo en otras articulaciones, principalmente la cadera.

Holsgaard-Larsen et al²² también estudiaron el comportamiento del miembro inferior durante las maniobras de **salto vertical bipodal (SVB) y monopodal (SVM)**. En el SVB existe menor rango de movimiento en el miembro inferior operado y menor flexión de rodilla que en la pierna contralateral sana. Esto puede ser debido a que durante el salto bipodal el paciente traslada las compensaciones a la pierna sana (aumentando en ésta la flexión de rodilla) por lo que de esta manera reduce la carga en todas las articulaciones de la pierna operada. Cabe destacar que estos mismos hallazgos se producen en los sujetos control en la pierna dominante respecto a la no dominante. En el SVM se encontró menor rango de movimiento en la rodilla operada que en la sana que debe de compensarse con un aumento de la movilidad en las restantes articulaciones del miembro inferior, sin producirse diferencias en los sujetos control en este caso.

Zampeli et al⁴¹ valoraron una maniobra que es muy habitual en el ámbito deportivo, el **pivotaje**. Esta maniobra fue realizada tras descender el paciente por unas escaleras y tras un aterrizaje bipodal, previo análisis de la situación espacial del injerto del LCA para comprobar posibles correlaciones. En este caso, los autores encontraron mayor rotación tibial en la pierna operada que en la sana y que en los sujetos control. A pesar de que este punto puede parecer contradictorio con el resto de estudios, este aumento de rotación encontrado con respecto a la rodilla sana puede deberse a que la rodilla lesionada parte de una rotación externa mayor, por lo que tendría más rango de movimiento disponible. Además, encontraron que a mayor oblicuidad del injerto en el plano coronal se produce menor rotación tibial, por lo que es un hallazgo muy importante a la hora de la cirugía para conseguir una mayor normalización en la biomecánica de la rodilla. Esto demuestra que la posición más oblicua del injerto genera unas mejores aferencias propioceptivas, que tienen como consecuencia una mayor normalización en la biomecánica de la rodilla.

Baczkowicz et al⁴³ investigaron las respuestas que se producían en el equilibrio estático mediante pruebas de **apoyo bipodal (AB) y monopodal (AM)**. En el AB el paciente sufre inestabilidad en el plano anteroposterior, mientras que en el mediolateral existe normalidad respecto a la pierna sana y a los sujetos control. Esta inestabilidad anteroposterior se explica por la falta de recuperación de las propiedades del LCA, que

en condiciones normales limita la anteriorización de la tibia sobre el fémur. En el AM sobre la pierna operada, aumenta la varianza de inclinación en la plataforma en todos los planos respecto a los sujetos control, debido a que no existe la posibilidad de compensar los déficits propioceptivos en la pierna operada con la pierna sana contralateral. Además, si la pierna operada es la no dominante, la inestabilidad es mucho mayor. También existe un aumento de la inestabilidad anteroposterior en el apoyo sobre la pierna sana cuando ésta es la no dominante en comparación con la pierna no dominante de los sujetos control. Por lo tanto, se demuestra que las consecuencias de la lesión son más graves cuando la pierna afectada es la no dominante, ya que de por sí tiene unos mecanismos de control motor menos desarrollados que la pierna dominante.

El análisis de los artículos que han medido de una u otra forma las **alteraciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas** en el miembro inferior operado tras la cirugía de LCA permite afirmar que sí se producen este tipo de disfunciones. En la totalidad de las pruebas funcionales empleadas se producen compensaciones tanto en la rodilla como en las restantes articulaciones del miembro inferior y el tronco con el objetivo de reducir las cargas que sufre la rodilla operada. Cuando las pruebas funcionales se realizan de forma bilateral, las compensaciones se trasladan al miembro inferior sano contralateral, por lo que se puede deducir que la cirugía produce una alteración en toda la biomecánica del miembro inferior afecto e, incluso, del no afecto.

Según los hallazgos de los diferentes autores, se puede deducir que los pacientes operados tienen mayor probabilidad de recidiva en su lesión que los sujetos sanos debido a que durante las actividades funcionales la biomecánica de la rodilla operada repite el mecanismo lesional de LCA, esto es, un aumento de rotación externa y aducción de rodilla, generando así un valgo dinámico que provoca una exigencia mecánica excesiva en el injerto. Además, estas alteraciones son factores de riesgo para patologías como la artrosis.

Esta revisión sistemática tiene como punto fuerte la realización de un abordaje holístico y detallado de todas las alteraciones que se producen en el miembro inferior tras la reconstrucción de LCA a través del análisis de los resultados de multitud de pruebas funcionales. A pesar de esto, es necesario realizar estudios de una mayor calidad metodológica, preferiblemente longitudinales, para realizar un seguimiento completo de los pacientes después de la cirugía.

Estas alteraciones deberían ser tomadas en cuenta por los fisioterapeutas para conseguir una disminución de las recidivas, reducción de patologías concomitantes y una mejor funcionalidad de los pacientes.

8. CONCLUSIONES

Existen alteraciones neuromusculares, biomecánicas, cinéticas y cinemáticas tras la cirugía de LCA que se mantienen a largo plazo tras la cirugía.

Como alteraciones neuromusculares se ha encontrado disminución en la fuerza y mayor dificultad para la activación de la musculatura clave de la rodilla (cuádriceps e isquiotibiales). Las pruebas más utilizadas fueron el estudio de la contracción muscular isométrica e isocinética, además de los ratios de activación central y umbrales de activación motor de la musculatura implicada, y el reflejo miotendinoso del cuádriceps.

Como alteraciones biomecánicas, cinéticas y cinemáticas se han identificado múltiples alteraciones en el miembro inferior operado que tienen como objetivo descargar a la rodilla de estrés mecánico mediante una mayor flexión y absorción de fuerzas en las articulaciones de la cadera y tobillo o el tronco. Cuando las pruebas se realizan bilateralmente, estas compensaciones se trasladan al miembro inferior sano. En la rodilla operada se genera un valgo dinámico, por lo que es propensa a sufrir recidivas. Las pruebas funcionales más utilizadas para su estudio fueron saltos, apoyos, pasos laterales sin anticipar, aterrizajes y pivotajes.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Hernández GL, Hortigüela LF, Gutiérrez J, Forriol F. Protocolo cinético en la rotura del ligamento cruzado anterior. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*. 2011;55(1):9-18.
2. de Artroscofia AE. Informe sobre el perfil de la cirugía artroscópica en España. *Cuadernos de Artroscofia*. 2001;8:10-21.
3. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport rate is less than might be anticipated following ACL reconstruction surgery: 768: June 3 2: 00 PM-2: 15 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010;42(5):57.
4. Salmon L, Russell V, Musgrove T, Pinczewski L, Refshauge K. Incidence and risk factors for graft rupture and contralateral rupture after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2005;21(8):948-957.
5. Nakamae A, Ochi M, Deie M, et al. Biomechanical function of anterior cruciate ligament remnants: How long do they contribute to knee stability after injury in patients with complete tears? *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2010;26(12):1577-1585.
6. Tashman S, Kopf S, Fu FH. The kinematic basis of anterior cruciate ligament reconstruction. *Operative techniques in sports medicine*. 2008;16(3):116-118.
7. Zhou M, Gu L, Chen Y, et al. Factors affecting proprioceptive recovery after anterior cruciate ligament reconstruction. *Chin Med J*. 2008;121(22):2224-2228.
8. Anders J, Venbrocks R, Weinberg M. Proprioceptive skills and functional outcome after anterior cruciate ligament reconstruction with a bone–tendon–bone graft. *Int Orthop*. 2008;32(5):627-633.
9. Johansson H, Sjölander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop*. 1991;268:161-178.
10. UNESCO C. Rehabilitación del paciente con lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA). revisión. *International Journal of Medicine and Science of Physical Activity and Sport*. 2008;8(29):62-92.

11. Lewek M, Rudolph K, Axe M, Snyder-Mackler L. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Biomech.* 2002;17(1):56-63.
12. Thomeé R, Kaplan Y, Kvist J, et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2011;19(11):1798-1805.
13. Pietrosimone BG, Lepley AS, Ericksen HM, Gribble PA, Levine J. Quadriceps strength and corticospinal excitability as predictors of disability after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2013;22(1):1-6.
14. Ochi M, Iwasa J, Uchio Y, Adachi N, Kawasaki K. Induction of somatosensory evoked potentials by mechanical stimulation in reconstructed anterior cruciate ligaments. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(5):761-766.
15. Augestad L, Tøndel S. Isokinetic muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports.* 1998;8(5):279-282.
16. Wilk KE, Romaniello WT, Soscia SM, Arrigo CA, Andrews JR. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee 1. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 1994;20(2):60-73.
17. Wojtys EM, Huston LJ. Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance. *Am J Sports Med.* 2000;28(3):336-344.
18. Kobayashi A, Higuchi H, Terauchi M, Kobayashi F, Kimura M, Takagishi K. Muscle performance after anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop.* 2004;28(1):48-51.
19. Urbach D, Nebelung W, Weiler HT, Awiszus F. Bilateral deficit of voluntary quadriceps muscle activation after unilateral ACL tear. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31(12):1691-1696.
20. Lipscomb AB, Johnston RK, Snyder RB, Warburton MJ, Gilbert PP. Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med.* 1982;10(6):340-342.

21. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Hamstring strength recovery after hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: A comparison between graft types. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2010;26(4):462-469.
22. Holsgaard Larsen A, Jensen C, Mortensen NHM, Aagaard P. Concurrent assessments of lower limb loading patterns, mechanical muscle strength and functional performance in ACL-patients--a cross-sectional study. *Knee*. 2014;21(1):66-73.
23. Webster KE, Santamaria LJ, McClelland JA, Feller JA. Effect of fatigue on landing biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(5):910-916.
24. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med*. 2010;38(10):1968-1978.
25. Bush-Joseph CA, Hurwitz DE, Patel RR, et al. Dynamic function after anterior cruciate ligament reconstruction with autologous patellar tendon. *Am J Sports Med*. 2001;29(1):36-41.
26. Kowalk DL, Duncan JA, McCue FC, 3rd, Vaughan CL. Anterior cruciate ligament reconstruction and joint dynamics during stair climbing. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(11):1406-1413.
27. Ristanis S, Stergiou N, Patras K, Vasiliadis HS, Giakas G, Georgoulis AD. Excessive tibial rotation during high-demand activities is not restored by anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2005;21(11):1323-1329.
28. Decker MJ, Torry MR, Noonan TJ, Riviere A, Sterett WI. Landing adaptations after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(9):1408-1413.
29. Deneweth JM, Bey MJ, McLean SG, Lock TR, Kolowich PA, Tashman S. Tibiofemoral joint kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee during a single-legged hop landing. *Am J Sports Med*. 2010;38(9):1820-1828.

30. Salem GJ, Salinas R, Harding FV. Bilateral kinematic and kinetic analysis of the squat exercise after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84(8):1211-1216.
31. Meuffels DE, Favejee MM, Vissers MM, Heijboer MP, Reijman M, Verhaar JA. Ten year follow-up study comparing conservative versus operative treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A matched-pair analysis of high level athletes. *Br J Sports Med.* 2009;43(5):347-351.
32. Scanlan SF, Chaudhari AM, Dyrby CO, Andriacchi TP. Differences in tibial rotation during walking in ACL reconstructed and healthy contralateral knees. *J Biomech.* 2010;43(9):1817-1822.
33. Lee MC, Seong SC, Lee S, et al. Vertical femoral tunnel placement results in rotational knee laxity after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 2007;23(7):771-778.
34. Oberländer K, Brüggemann G, Höher J, Karamanidis K. Altered landing mechanics in ACL-reconstructed patients. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(3):506-513.
35. Yosmaoglu H, Baltaci G, Kaya D, Ozer H. Tracking ability, motor coordination, and functional determinants after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Rehabil.* 2011;20(2):207-218.
36. Oberländer K, Brüggemann G, Höher J, Karamanidis K. Knee mechanics during landing in anterior cruciate ligament patients: A longitudinal study from pre- to 12 months post-reconstruction. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2014;29(5):512-517.
37. Kuenze C, Hertel J, Weltman A, Diduch D, Saliba S, Hart J. Persistent neuromuscular and corticomotor quadriceps asymmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train.* 2015;50(3):303-312.
38. Clarke S, Kenny I, Harrison A. Dynamic knee joint mechanics after anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(1):120-127.
39. Vairo G. Knee flexor strength and endurance profiles after ipsilateral hamstring tendons anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(3):552-561.

40. Otzel D, Chow J, Tillman M. Long-term deficits in quadriceps strength and activation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport*. 2015;16(1):22-28.
41. Zampeli F, Ntoulia A, Giotis D, et al. Correlation between anterior cruciate ligament graft obliquity and tibial rotation during dynamic pivoting activities in patients with anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: An in vivo examination. *Arthroscopy*. 2012;28(2):234-246.
42. Konishi Y, Oda T, Tsukazaki S, Kinugasa R, Fukubayashi T. Relationship between quadriceps femoris muscle volume and muscle torque at least 18 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports*. 2012;22(6):791-796.
43. Baczkowicz D, Skomudek A. Assessment of neuromuscular control in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2013;15(3):205-214.
44. Webster K, Feller J. Tibial rotation in anterior cruciate ligament reconstructed knees during single limb hop and drop landings. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012;27(5):475-479.

10. ANEXOS

Anexo 1. Escala Oxford de valoración

Grado de recomendación	Nivel de evidencia	Fuente
A	1 a	Revisión sistemática de ECA, con homogeneidad, o sea que incluya estudios con resultados comparables y en la misma dirección.
	1 b	ECA individual (con intervalos de confianza estrechos)
	1 c	Eficacia demostrada por la práctica clínica y no por la experimentación
B	2 a	Revisión sistemática de estudios de cohortes, con homogeneidad, o sea que incluya estudios con resultados comparables y en la misma dirección.
	2 b	Estudio de cohortes individual y ensayos clínicos aleatorios de baja calidad (< 80% de seguimiento)
	2 c	Investigación de resultados en salud
	3 a	Revisión sistemática de estudios de casos y controles, con homogeneidad, o sea que incluya estudios con resultados comparables y en la misma dirección.
	3 b	Estudios de casos y controles individuales
C	4	Serie de casos y estudios de cohortes y casos y controles de baja calidad.

*Si tenemos un único estudio con IC amplios o una revisión sistemática con heterogeneidad estadísticamente significativa, se indica añadiendo el signo (-) al nivel de evidencia que corresponda y la recomendación que se deriva es una D