

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FISIOTERAPIA



**Importancia de los aspectos neurocognitivos en el tratamiento de
fisioterapia en lesiones del ligamento cruzado anterior de rodilla:
revisión bibliográfica**

AUTOR: ASENSIO GÓMEZ, DANIEL.

Nº Expediente: 2529.

TUTOR: HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, SERGIO.

Curso académico 2020-2021.

Convocatoria de junio.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT	2
3. ÍNDICE DE ABREVIATURAS	3
4. INTRODUCCIÓN.....	5
4.1. JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN.....	6
5. OBJETIVOS	8
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
6.1. SELECCIÓN DE ARTÍCULOS	10
7. RESULTADOS	11
8. DISCUSIÓN.....	13
Figura A. Ejercicio cruzado	15
Figura B. Reconocimiento posiciones y trayectorias.....	16
Figura C. Entrenamiento con gafas estroboscópicas	16
Figura D. Retroalimentación del enfoque externo manteniendo barra con peso	16
Figura E. Retroalimentación del enfoque externo mediante señalización	16
Figura F. Trabajo pliométrico.....	17
Figura G. Tarea de Stroop.....	17
Figura H. Doble tarea con trabajo de zigzag y punto fijo.....	17
8.1. LIMITACIONES.....	18
9. CONCLUSIONES	19
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
11. ANEXO DE FIGURAS Y TABLAS	24
Figura 1. Diagrama de flujo.	24
Figura 2. Programa de intervención.....	25
Tabla 1. Análisis de la calidad metodológica mediante escala PEDro.....	26
Tabla 2. Análisis de la calidad metodológica mediante escala NOS.	27
Tabla 3. Resumen de los estudios seleccionados.....	28

1. RESUMEN

Introducción: el ligamento cruzado anterior (LCA) es el encargado de proporcionar estabilidad mecánica y función sensorial a la articulación de la rodilla. Tras esta lesión, la función sensorial se ve afectada por la pérdida de mecanorreceptores, especialmente tras la intervención quirúrgica. Esta patología ya no se considera una lesión musculoesquelética periférica o mecánica, sino una disfunción neurofisiológica que afecta a la organización del sistema nervioso central (SNC). Este cambio de paradigma debería contemplarse en el proceso de rehabilitación, evitando así el alto índice de recaídas.

Objetivos: revisar los efectos sensoriomotores de intervenciones terapéuticas o preventivas sobre el LCA que incluyan un abordaje neurocognitivo, así como describir sus cambios centrales, características y beneficios, junto a una serie de recomendaciones clínicas.

Material y métodos: búsqueda bibliográfica de estudios publicados a partir de 2010 que abordasen las implicaciones neurocognitivas de la lesión de LCA en las bases de datos Pubmed, Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Cochrane y PEDro.

Resultados: se incluyeron nueve estudios. Cuatro analizan los cambios sensoriomotores centrales mediante resonancia magnética tras la lesión de LCA, cuatro analizaron diferentes pruebas de salto con la adición de componente neurocognitivo y uno comparó una rehabilitación neurocognitiva frente a una tradicional.

Conclusiones: se encontró evidencia de los cambios sensoriomotores de pacientes con rotura de LCA, de pacientes sanos que podrían sufrir esta lesión y de los beneficios de la rehabilitación neurocognitiva, mostrándose una serie de recomendaciones. Sin embargo, debido a la escasez de estudios disponibles, se necesita mayor cantidad y calidad de investigación.

Palabras clave: “rehabilitación LCA”, “reconstrucción LCA”, “neuroplasticidad”, “cambios sensoriomotores”.

2. ABSTRACT

Introduction: the anterior cruciate ligament (ACL) is in charge of providing mechanical stability and sensory function to the knee joint. After this injury, sensory function is affected by the loss of mechanoreceptors, especially after surgery. This pathology is no longer considered a peripheral or mechanical musculoskeletal injury, but a neurophysiological dysfunction that affects the organization of the central nervous system (CNS). This paradigm shift should be considered in the rehabilitation process, thus avoiding the high relapse rate.

Objectives: to review the sensorimotor effects of therapeutic or preventive interventions on ACL that include a neurocognitive approach, as well as to describe its central changes, characteristics and benefits, together with a series of clinical recommendations.

Material and methods: literature search of studies published since 2010 that addressed the neurocognitive implications of ACL injury in the Pubmed, Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Cochrane and PEDro databases.

Results: nine studies were included. Four analyze the central sensorimotor changes using magnetic resonance imaging (MRI) after ACL injury, four analyzed different jumping tests with the addition of a neurocognitive component, and one compared a neurocognitive rehabilitation with a traditional one.

Conclusions: evidence was found of sensorimotor changes in patients with ACL tear, in healthy patients who could suffer this injury and the benefits of neurocognitive rehabilitation, showing a series of recommendations. However, due to the paucity of available studies, a greater quantity and quality of research is needed.

Keywords: "ACL rehabilitation", "ACL reconstruction", "neuroplasticity", "sensorimotor changes".

3. ÍNDICE DE ABREVIATURAS

LCA – Ligamento cruzado anterior

SNC – Sistema nervioso central

RLCA – Reconstrucción de ligamento cruzado anterior

MRI – Resonancia magnética

fMRI – Resonancia magnética funcional

RTP – Retorno a la competición

PEDro – Physiotherapy Evidence Database

NOS - Newcastle Ottawa Quality Assesment Scale

EMG – Electromiografía

ROM – Rango de movimiento

EVA – Escala visual analógica

SF-36 – 36-Item Short-Form Healty Survey

DS – Decúbito supino

TG – Grupo de rehabilitación neurocognitiva

CG – Grupo de fisioterapia común

CRI – Concussion Resolution Index

HP - Grupo de alto rendimiento

LP – Grupo de bajo rendimiento

aNMT – Entrenamiento neuromuscular aumentado

pKAM – Momento pico de aducción

DVJ – Salto vertical tras aterrizaje

VM – Vasto Medial

VL – Vasto lateral

HM – Isquiotibial lateral

HL – Isquiotibial medial

GlutMed – Gluteo Medio

GM – Gastrocnemio medial

GL – Gastrocnemio lateral



4. INTRODUCCIÓN

El ligamento cruzado anterior (LCA) es un elemento intraarticular y extrasinovial de la rodilla cuya función principal es proporcionar estabilidad mecánica y actuar como órgano propioceptivo ofreciendo una función sensorial a la articulación (15, 33). Tiene su origen en la parte anterior intercondílea tibial entre ambos meniscos y se dirige de forma oblicua en dirección proximal y externa para insertarse en la parte posterior del cóndilo femoral externo (32).

Las lesiones de LCA tienen una alta prevalencia en la población general y suele afectar a sujetos físicamente activos, aunque no solo en el ámbito profesional, también en el deporte amateur (29, 34). Representa el 20% de todas las lesiones de la rodilla, el 60% de las cirugías del deporte en pacientes jóvenes y el 50% de todos los accidentes ligamentosos de la rodilla. Genera un impacto físico y emocional y puede originar importantes implicaciones sociales y económicas (1, 25, 29).

Esta patología es de dos a ocho veces más frecuente en mujeres que en hombres (27, 29). Además, esta lesión ocurre con más frecuencia en deportes que requieren pivotar, acelerar y desacelerar rápidamente, realizar torsiones o cambios bruscos de dirección (18).

En cuanto a los factores de riesgo intrínsecos, se consideran la edad, el sexo, el volumen y área transversal del LCA, el aumento del valgo fisiológico de la rodilla, el aumento de la laxitud articular, la composición corporal, el estado de forma, el historial médico o los factores psicológicos, entre otros. De los factores externos, se debe tener en cuenta el tipo de actividad o deporte que se practica, el equipamiento utilizado o el entorno de la práctica, ya que pueden tener un papel relevante en la aparición de esta lesión (12, 29, 31).

La rotura del LCA tiene una etiología multifactorial (6) y aproximadamente el 67% de los casos se deben a mecanismos indirectos (16, 24). El mecanismo de lesión más común se corresponde con un traumatismo indirecto en valgo dinámico mientras se realiza un pivote o giro con el pie fijo en el suelo y antes de la extensión completa de la pierna con una ligera flexión de rodilla. Esta ruptura provoca una inestabilidad funcional (31, 32).

Una vez diagnosticada la rotura de LCA, hay dos enfoques de tratamiento: un abordaje conservador, o bien el tratamiento quirúrgico. Ambos suelen implicar una rehabilitación prolongada (17, 26). Cuando se opta por el tratamiento quirúrgico, uno de los principales problemas es la extirpación de parte del aparato sensorial destinado a proteger la rodilla (1, 5, 7, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 19). Otro dato impactante es que 1 de cada 3 jóvenes que se someten a reconstrucción de LCA (RLCA) experimentan un segundo desgarramiento del LCA asociado con el menisco y o daño del cartílago en aproximadamente el 90% de los casos (22). Del 3 al 22% de los atletas vuelven a romperse el ligamento reconstruido y del 3-24% rompe el LCA contralateral en los primeros 5 años tras la RLCA (27).

El riesgo de lesión secundaria aumenta para la extremidad contralateral en mujeres o la extremidad ipsilateral en hombres por lo que el riesgo de una segunda lesión del LCA es alto en los atletas jóvenes, especialmente a corto plazo (20). Los estudios indican que después de la intervención quirúrgica, en promedio el 81% de los atletas regresan a cualquier deporte, el 65% regresan a su nivel de deporte anterior a la lesión y el 55% regresan a los deportes de nivel competitivo (17, 20, 29, 30). Sólo el 33% de los atletas regresan a los deportes tras 1 año de la cirugía y el 37% nunca lo hacen a sus niveles anteriores de participación deportiva (23). El factor psicológico, la preparación física y la correcta curación biológica serán los determinantes de la decisión de volver a participar en la actividad previa a la lesión (RTP) (22). La evidencia sugiere que a pesar de la decisión de pasar o no por quirófano la rehabilitación debe empezar desde el primer momento (20, 22). El objetivo final de cualquier programa de rehabilitación sólido de LCA no es solo un resultado exitoso a corto plazo, sino también conseguir una rodilla asintomática de 5 a 10 años después y para el futuro (30).

4.1. JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN

Actualmente se ha evidenciado que la lesión de LCA puede inducir cambios neurofisiológicos para el control sensoriomotor de la articulación de la rodilla (7, 12, 13, 15). Además, la lesión causa daño en los mecanorreceptores del ligamento y cápsula, que a su vez originan alteraciones en el control neuromuscular y una pérdida de información aferente propioceptiva, que es la que da lugar a alteraciones neuroplásticas del sistema nervioso central (SNC) (1, 5, 7, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 19). Estas diferencias

incluyen, además de la alteración de la función aferente del ligamento, una salida eferente (respuesta del SNC) alterada y cambios en la actividad cerebral para el control motor (6, 15), considerándose también el estado neurocognitivo previo un factor de riesgo de lesión (2, 5). En definitiva, tras la lesión del LCA tiene lugar un control neuromuscular alterado que puede inducir cambios neuroplásticos crónicos a largo plazo (12).

La rotura de LCA ya no se considera actualmente en la literatura como una lesión musculoesquelética periférica o mecánica, sino una disfunción neurofisiológica que afecta a la organización del SNC, (5, 10, 27) que debería tenerse en cuenta en el proceso de rehabilitación y RTP (5, 12, 13, 14, 34), y que de no ser así, puede dar lugar a una recuperación inadecuada (11, 12, 13, 17). Actualmente no hay consenso sobre los protocolos y el programa de rehabilitación óptimo para esta patología, ni que incluya estos aspectos neuroplásticos en su dinámica (23, 28). Varias terapias que incluyen tareas neurocognitivas han demostrado ser efectivas tanto para la rehabilitación como para la prevención de esta lesión (10, 12, 14, 15), y el abordaje del SNC incluyendo desafíos sensoriomotores para facilitar la neuroplasticidad ha adquirido un papel relevante en el proceso de recuperación física (12, 15). Sería, en teoría, recomendable, combinar factores biomecánicos con factores neurocognitivos para mejorar el control sensoriomotor de rodilla (14). La incorporación de estas nuevas terapias y tecnologías puede proporcionar un medio para reducir la alta tasa de lesiones de LCA (16). Por tanto, el objetivo de esta revisión es evidenciar las aportaciones de la literatura que tratan sobre la incorporación de aspectos neurocognitivos vinculados a la rehabilitación de lesiones del LCA. Cabe destacar que debido a la poca extensibilidad en la literatura actual sobre este tipo de abordaje, el trabajo de investigación consistirá en una revisión tipo paraguas.

5. OBJETIVOS

General:

- Revisar, a través de la literatura científica, los efectos sensoriomotores de intervenciones terapéuticas o preventivas sobre el LCA que incluyen un abordaje neurocognitivo.

Específicos:

- Evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión.
- Describir los cambios sensoriomotores centrales que tienen lugar tras la lesión del LCA reportados en los estudios.
- Observar los beneficios del abordaje neurocognitivo para la prevención o tratamiento de lesiones del LCA, elaborando finalmente una serie de recomendaciones prácticas en el ámbito de la fisioterapia asistencial.



6. MATERIAL Y MÉTODOS

Esta revisión ha sido aprobada por la Oficina de Investigación Responsable de la Universidad Miguel Hernández de Elche, quedando registrada con el código COIR: TFG.GFI.SHS.DAG.210119 y se ha realizado siguiendo las principales directrices PRISMA para revisiones sistemáticas (21).

Se realizó una búsqueda bibliográfica electrónica desde el 11 de enero de 2021 hasta el 31 de enero de 2021 en las bases de datos Pubmed, Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Cochrane y PEDro. La estrategia de búsqueda se llevó a cabo mediante el uso de las palabras clave “ACL rehabilitation”, “ACL reconstruction”, “neuroplasticity”, “sensorimotor changes” para todas las bases de datos excepto para PEDro, donde se utilizó directamente “ACL neurocognitive rehabilitation” al no obtener resultados con la combinación de las anteriores palabras clave. Todas las palabras en el resto de bases de datos fueron combinadas entre sí con el operador booleano “AND” y con los filtros que se muestran en los criterios de inclusión. Los datos cuantitativos de la estrategia de búsqueda se muestran en el diagrama de flujo **(Figura 1)**.

Los criterios de inclusión fueron: ensayos clínicos y estudios de casos y controles en los que se llevara a cabo una intervención terapéutica rehabilitadora o preventiva de LCA o el análisis mediante pruebas de imagen de los cambios sensoriomotores producidos tras esta lesión en humanos, sin restricción de etnia o género. Los artículos debían estar en español o inglés, publicados entre el 1 de enero de 2010 hasta el 31 de enero de 2021. Además, debían superar la puntuación mínima de la escala de validez Physiotherapy Evidence Database (PEDro) en el caso de los ensayos clínicos y la escala Newcastle Ottawa Quality Assessment Scale (NOS) para los estudios de casos y controles para poder no ser considerados estudios de baja calidad metodológica.

Se excluyeron para este trabajo las revisiones sistemáticas, metaanálisis o guías de práctica clínicas, intervenciones en animales o cadáveres, artículos anteriores al 2010 y todo artículo que no hablara exclusivamente de LCA sin patologías asociadas. También fueron excluidos todos los artículos sin conclusiones claras, sin una correcta interpretación de los resultados o sin un formato o estructura clara como determina la literatura científica junto con aquellos que no superasen la puntuación de sus escalas correspondientes según el tipo de artículo.

6.1. SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

El primer proceso de selección fue el cribado de los títulos y los resúmenes pertinentes. A continuación se realizó una lectura crítica de los artículos y se descartaron los que estuviesen duplicados y aquellos cuyo contenido no cumplía el objetivo del estudio o no se ajustaban a los criterios de inclusión. Una vez finalizada la selección de los artículos, se procedió a la evaluación de la calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los mismos mediante las escalas PEDro (**Tabla 1**) y NOS (**Tabla 2**).



7. RESULTADOS

El número de artículos seleccionados finalmente para esta revisión ha sido 9, obtenidos principalmente de PubMed. Toda la información extraída de estos artículos se puede consultar en la **Tabla 3**.

En cuanto al diseño, cinco de los ocho artículos fueron ensayos clínicos controlados (1, 2, 3, 4, 5), siendo cuatro no aleatorizados (2, 3, 4, 5) y sólo uno aleatorizado (1). Además, dentro de los no controlados, uno se correspondía con un ensayo preliminar para comprobar la eficacia potencial de una intervención y en el caso de que funcionase realizar un estudio posterior de mayor magnitud y escala (4). Los resultados fueron concluyentes y estaban relacionados con la temática de nuestra revisión, motivo por el cual decidimos seleccionarlo. Respecto a los cuatro artículos restantes de nuestra revisión, todos se correspondían con un diseño de casos y controles (6, 7, 8, 9), siendo de nuevo, uno de ellos, un estudio preliminar que aceptamos por las mismos motivos que se acaban de mencionar (8).

Sobre las puntuaciones para la evaluación de la calidad metodológica de los estudios, en los ensayos clínicos (1, 2, 3, 4, 5), cuatro artículos presentaron una calidad regular al obtener tres artículos una puntuación de 5 (2, 3, 5) y un artículo una puntuación de 4 (4). El ensayo clínico restante fue calificado de una buena calidad al obtener una puntuación de 7 (1). Respecto a los casos y controles (6, 7, 8, 9), dos artículos sumaron un total de 7 estrellas (6, 7) y los otros dos 8 estrellas (8, 9) en los respectivos apartados de selección, comparabilidad y exposición, lo que supone un bajo riesgo de sesgo.

Respecto a la población, el número de sujetos participantes analizados en estos estudios ha sido entre dos (6) y cuarenta (5), de más bajo a más alto, respectivamente. Cuatro de los ocho artículos han contado con más de treinta sujetos para su estudio (2, 4, 5, 7) y en todos los artículos ha habido dos grupos de comparación (bien sea caso control para este diseño o grupo experimental o control para el caso de los ensayos clínicos) excepto en uno de los ensayos clínicos (3) en los que sólo participó un grupo en el estudio. Además, todos los sujetos de cada estudio se correspondían con personas jóvenes o adultas y hombres y mujeres a excepción de dos artículos en el que sólo participaron mujeres (4, 8) y otros dos en los que únicamente participaron hombres (1, 9). No hubo ningún estudio en el que participaran niños o ancianos.

En cuanto a los programas de intervención (**Figura 2**), por un lado, un estudio comparó la rehabilitación neurocognitiva frente a la rehabilitación tradicional tras RLCA (1), cuatro estudios compararon la activación cerebral mediante resonancia magnética (MRI) para el control motor mediante flexo-extensiones de rodilla y las diferencias en la actividad neuronal de la corteza cerebral entre pacientes con RLCA y personas sanas (6, 7, 8, 9) y cuatro estudios compararon diferentes saltos para la prevención de lesiones de LCA según el dominio cognitivo testado de cada sujeto (2), tras la adición de componentes neurocognitivos a diferentes tipos de saltos (3), tras un entrenamiento neuromuscular previo consistente en ejercicios pliométricos, de resistencia, velocidad y equilibrio (4) y tras la ejecución de tareas de descenso en las que tenía lugar la adición de diferentes condiciones ambientales, como perturbaciones que simulaban la rotura de LCA para observar si los pacientes con RLCA mostraban respuestas neuromusculares diferentes a las personas sin esta lesión (5).

El estudio que aplicó mayor tiempo de intervención tuvo una duración de 6 meses ya que comenzó inmediatamente tras la RLCA (1) mientras que el resto de los estudios fueron de menor duración ya que sólo implicaron días concretos de realización de pruebas.

En cuanto al análisis de los resultados de las intervenciones, la MRI fue utilizada en la mayoría de los estudios (1, 4, 6, 7, 8, 9). Se usaron programas informáticos para el análisis de datos cinemáticos y cinéticos (2) y sistemas de análisis de captura y movimiento digital (4). También se utilizó electromiografía (EMG) (5) y evaluaciones baropodométricas y de la marcha y clínicas como el rango de movimiento (ROM) (1). Por último, también se llevaron a cabo escalas como la visual analógica (EVA) o la encuesta de salud y calidad de vida 36-Item Short-Form Healty Survey (SF-36) (1).

Finalmente, siete de los estudios realizaron una única evaluación tras la intervención (2, 3, 5, 6, 7, 8, 9) y de los dos estudios restantes, uno realizó evaluaciones antes de la intervención quirúrgica de LCA y al primer, tercer y sexto mes postquirúrgicos (1) y otro antes y después de la realización de la prueba del estudio con control siete semanas después tras realizar la misma prueba (4).

8. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo es revisar los efectos sensoriomotores de intervenciones terapéuticas o preventivas sobre el LCA que incluyen un abordaje neurocognitivo, describiendo la calidad metodológica de los estudios, los cambios sensoriomotores centrales en pacientes con rotura de LCA y, en el caso de que haya, los beneficios del abordaje neurocognitivo, para establecer finalmente una serie de recomendaciones prácticas.

Para ello, se han revisado un total de nueve estudios en los que se observó la activación y conectividad cerebral mediante MRI en cuatro de los estudios (6, 7, 8, 9), se analizaron diferentes pruebas de salto tradicionales con la adición de componente neurocognitivo en otros cuatro estudios (2, 3, 4, 5) y se comparó la rehabilitación tradicional de LCA frente a un abordaje neurocognitivo en otro estudio (1).

Por un lado, en los cuatro artículos que estudiaron la activación y conectividad cerebral mediante MRI, dos de los estudios (6, 7) mostraron una sobreactivación de áreas de planificación motora, orientación visual y espacial, procesamiento sensorial, áreas responsables de cognición y control motor en los sujetos con RLCA en el hemisferio contralateral responsable de la pierna afectada frente a los controles sanos. Estos resultados podemos asociarlos a los del estudio de *Lepley y cols.* (35), en los que se observaron potenciales evocados motores más pequeños en el hemisferio responsable de la pierna afectada en pacientes con RLCA, teniendo como consecuencia una menor excitabilidad del tracto corticoespinal. Otros dos estudios (8, 9) mostraron una conectividad disminuida entre ciertas áreas sensoriomotoras en sujetos sanos que posteriormente sufrieron una rotura de LCA. En uno de ellos (8), se observó un déficit mayor entre la conectividad de áreas responsables del equilibrio, coordinación y propiocepción. El otro (9), mostró una disminución de la conectividad entre el área de la corteza somatosensorial secundaria responsable del proceso aferente y el dolor, como también comenta *Onate y cols.* (15), y áreas motoras y premotoras. Esta diferencia de resultados entre los dos últimos estudios (8, 9) puede deberse a que en el primero de ellos todos los sujetos fueron mujeres y en el segundo todos hombres, por lo que las diferencias sexuales, anatómicas, estructurales y funcionales específicas pueden ser uno de los motivos junto con la ejecución de la tarea requerida en cada estudio, como también señala *Grooms y cols.* (14).

Independientemente de la similitud o no de los resultados tras el análisis de estos cuatro estudios (6, 7, 8, 9), queda clara la alteración de la respuesta sensoriomotora en todos los sujetos, bien como consecuencia de la rotura de LCA (6, 7) o como factor predictivo de esta lesión (8, 9), por lo que el abordaje en clínica de la neuroplasticidad debe aplicarse para evitar la interrupción sensoriomotora. Este abordaje ya ha demostrado mejoras en otro de los artículos analizados (1) comparándose con la rehabilitación convencional. En él, se observó cómo tareas de reconocimiento con ojos cerrados de posiciones, tamaños, texturas o trayectorias tienen como resultado una menor asimetría de carga en pruebas estáticas o dinámicas, comparado con el grupo de rehabilitación tradicional.

Por otro lado, en los cuatro estudios que analizaron pruebas de salto tradicionales con la adición de componente neurocognitivo, a pesar de haberse agrupado por la similitud de las pruebas de salto, cada uno tiene sus características y no todos miden los mismos resultados, por lo que no se pueden extrapolar resultados tan claros como en los cuatro estudios de MRI anteriores (6, 7, 8, 9) ya que en estos artículos dos de los estudios (2, 4) contaban con sujetos sin rotura de LCA divididos en dos grupos según la detección de prueba cognitiva previa al ejercicio (2) o post ejercicio (4), otro estudio sin pacientes con lesión de LCA formaban un único grupo (3) y sólo uno comparó los resultados de los diferentes saltos entre pacientes con RLCA y pacientes sanos (5). Aun así, analizando los resultados de forma global, se observa de nuevo una alteración sensoriomotora central con una disminución del rendimiento neuromuscular en todas las actividades neurocognitivas tanto en pacientes con lesión de LCA como en controles sanos. Además, en el estudio de *Herman y Borth* (2), se observó una conectividad mayor entre áreas motoras y premotoras a las siete semanas de control que inicialmente estaban deficitarias en el grupo que había realizado el entrenamiento neurocognitivo, correspondiéndose los resultados de MRI con los mismos que los del estudio de *Diekfuss y cols.* (9). La interrupción de información aferente por la pérdida de mecanorreceptores en el caso de los sujetos con RLCA o la mala conexión por la falta de entrenamiento neurocognitivo en los pacientes ilesos son un factor de riesgo para recaer o sufrir la lesión de LCA, por lo que una mayor influencia de este tipo de entrenamiento debería llevarse a cabo para cualquier tipo de deporte o actividad que implique contactos, giros, pivotajes o cambios de dirección.

Cabe destacar que todos los estudios han mostrado diferencias significativas cuando se llevaba a cabo el abordaje neurocognitivo y estas no se relacionaban con la mejor o peor calidad metodológica de los estudios, por lo que es evidente la manifestación de estos cambios neuroplásticos a pesar de que los estudios deben tender a desarrollarse con la mejor calidad metodológica posible para ser puntuados objetivamente con las escalas que actualmente están validadas.

La rotura de LCA implica una mayor demanda del procesamiento visual y la planificación motora junto con la depresión del sistema somatosensorial. Es por ello que, ejercicios de la rehabilitación tradicional en la que se presta atención fundamentalmente al enfoque interno con tareas como ganar flexo-extensión de rodilla o disminuir el valgo en acciones de salto, deben ser combinadas con otras estrategias que todavía no se tienen en cuenta en el proceso de rehabilitación de LCA pero que, sin embargo, empiezan a estar evidenciadas en la literatura, haciendo frente a las grietas de la rehabilitación musculoesquelética tradicional, que tiene como consecuencia un RTP inadecuado.

Tras el análisis precedente, se proponen a continuación una serie de recomendaciones prácticas para tener en cuenta en las diferentes fases del proceso de rehabilitación de LCA o como estrategia de prevención desde un punto de vista neuroplástico.

- Trabajo de ejercicio cruzado sobre la pierna no afecta (**Figura A**), ya que ha demostrado una respuesta facilitada de la actividad muscular a nivel de la corteza motora en un tiempo en el que se sabe que estas áreas están deprimidas, y ha supuesto una mejora de la función en la pierna afectada por la actuación de neuronas espejo en las primeras fases tras RLCA (10, 34).



Figura A. Ejercicio cruzado

- Ejercicio de reconocimiento de posiciones y trayectorias con ojos cerrados en las primeras fases de recuperación tras RLCA como por ejemplo reconocer los grados de flexión de tronco o de rodilla en bipedestación mientras se realiza una ligera sentadilla (**Figura B**) (1).



Figura B. Reconocimiento posiciones y trayectorias



Figura C. Entrenamiento con gafas estroboscópicas

- Entrenamiento con gafas estroboscópicas en últimas fases de recuperación para producir una obstrucción visual que aumente la actuación de áreas de programación sensoriomotora con ejercicios como coger una pelota (**Figura C**) (13, 15, 16)

- Trabajo de retroalimentación del enfoque externo (13, 15, 17, 18) con el objetivo de dirigir la atención a otros factores para trabajar el control automático del cuerpo. Algunos ejemplos son el trabajo de propiocepción con la atención visual y motora centrada en un objeto como el mantenimiento horizontal de una barra con peso (**Figura D**) o frente a una pared mientras el terapeuta indica qué marca señalar (**Figura E**).



Figura D. Retroalimentación del enfoque externo manteniendo barra con peso



Figura E. Retroalimentación del enfoque externo mediante señalización

- Trabajo pliométrico con el objetivo de ejecutar una tarea bimanual como por ejemplo tocar dos objetos al mismo tiempo tras el aterrizaje de un salto (**Figura F**) (18).



Figura F. Trabajo pliométrico



Figura G. Tarea de Stroop

- Cualquier tipo de actividad precedida de un ejercicio cognitivo como la tarea de Stroop que sirva como señal de inicio en el que se debe decir el nombre de colores escritos en una tonalidad diferente a la que aparecen (**Figura G**) (15).

- Ejercicios de doble tarea en los que se ejecuta una acción como un zigzag con conos botando una pelota mientras se mantiene la mirada fija en un punto en concreto (**Figura H**) (18).



Figura H. Doble tarea con trabajo de zigzag y punto fijo

8.1. LIMITACIONES

La revisión se ha realizado mediante la obtención de artículos científicos en las diferentes bases de datos electrónicas disponibles. Sin embargo, debido a los términos de búsqueda (palabras clave) empleados, se han podido ignorar ciertos artículos que podrían haber sido relevantes. Además, aceptar únicamente estudios en inglés o español también ha podido excluir otros artículos publicados en otros idiomas, de la misma forma que el hecho de no incluir artículos anteriores al 2010. Asimismo, el tema escogido para el trabajo ha supuesto tener que realizar una revisión tipo paraguas, debido a la poca literatura existente en este abordaje, en la que se han aceptado los estudios que cumplieran los criterios de inclusión y tuvieran relación con el tema, en ocasiones sin tener relaciones directas en sus resultados pero sí globalmente. Además, se ha realizado una comparación con algunas revisiones y guías clínicas para establecer las recomendaciones indicadas al final de la discusión, con el objetivo de mostrar algunos ejemplos más prácticos que añadir a la rehabilitación de LCA.



9. CONCLUSIONES

1. Existe evidencia significativa que muestra cambios sensoriomotores en pacientes con rotura de LCA e incluso en pacientes sanos que podrían sufrir esta lesión, observándose una sobreactivación de áreas motoras, premotoras, visuales, espaciales y cognitivas a nivel cerebral.
2. Existe evidencia moderada sobre los beneficios de la rehabilitación llevando a cabo un abordaje neurocognitivo, en comparación con la rehabilitación musculoesquelética tradicional, realizando tareas de ejercicio cruzado, reconocimiento de posiciones y trayectorias, entrenamiento con gafas estroboscópicas, ejercicios centrados en el enfoque externo, trabajo pliométrico, ejercicios de doble tarea o cualquier tipo de actividad precedida de una tarea cognitiva como la de Stroop.
3. Tras la escasez de estudios disponibles actualmente y la insuficiente calidad metodológica de los mismos, se necesita más investigación y de mayor calidad para poder determinar específicamente y en unanimidad, qué áreas cerebrales son las más afectadas y qué tipo de ejercicios neurocognitivos son los más adecuados.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cappellino F, Paolucci T, Zangrando F, Iosa M, Adriani E, Mancini P, Bellelli A, Saraceni VM. Neurocognitive rehabilitative approach effectiveness after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon. A randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2012 Mar; 48(1):17-30.
2. Herman DC, Barth JT. Drop-Jump Landing Varies With Baseline Neurocognition: Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury Risk and Prevention. *Am J Sports Med.* 2016 Sep; 44(9):2347-53.
3. Simon JE, Millikan N, Yom J, Grooms DR. Neurocognitive challenged hops reduced functional performance relative to traditional hop testing. *Phys Ther Sport.* 2020 Jan; 41:97-102.
4. Diekfuss JA, Grooms DR, Bonnette S, DiCesare CA, Thomas S, MacPherson RP, Ellis JD, Kiefer AW, Riley MA, Schneider DK, Gadd B, Kitchen K, Barber Foss KD, Dudley JA, Yuan W, Myer GD. Real-time biofeedback integrated into neuromuscular training reduces high-risk knee biomechanics and increases functional brain connectivity: A preliminary longitudinal investigation. *Psychophysiology.* 2020 May;57(5):e13545
5. Smeets A, Verschueren S, Staes F, Vandenneucker H, Claes S, Vanrenterghem J. Athletes with an ACL reconstruction show a different neuromuscular response to environmental challenges compared to uninjured athletes. *Gait Posture.* 2021 Jan; 83:44-51.
6. Grooms DR, Page SJ, Onate JA. Brain Activation for Knee Movement Measured Days Before Second Anterior Cruciate Ligament Injury: Neuroimaging in Musculoskeletal Medicine. *J Athl Train.* 2015 Oct; 50(10):1005-10
7. Criss CR, Onate JA, Grooms DR. Neural activity for hip-knee control in those with anterior cruciate ligament reconstruction: A task-based functional connectivity analysis. *Neurosci Lett.* 2020 Jun 21; 730:134985
8. Diekfuss JA, Grooms DR, Yuan W, Dudley J, Barber Foss KD, Thomas S, Ellis JD, Schneider DK, Leach J, Bonnette S, Myer GD. Does brain functional connectivity contribute to musculoskeletal injury? A preliminary prospective analysis of a neural biomarker of ACL injury risk. *J Sci Med Sport.* 2019 Feb; 22(2):169-174.
9. Diekfuss JA, Grooms DR, Nissen KS, Schneider DK, Foss KDB, Thomas S, Bonnette S, Dudley JA, Yuan W, Reddington DL, Ellis JD, Leach J, Gordon M, Lindsey C, Rushford K, Shafer C, Myer GD.

- Alterations in knee sensorimotor brain functional connectivity contributes to ACL injury in male high-school football players: a prospective neuroimaging analysis. *Braz J Phys Ther.* 2020 Sep-Oct;24(5):415-423.
10. Burland JP, Lepley AS, Cormier M, DiStefano LJ, Arciero R, Lepley LK. Learned Helplessness After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: An Altered Neurocognitive State? *Sports Med.* 2019 May;49(5):647-657.
 11. Rodriguez K, Garcia SA, Spino C, Lepley LK, Pang Y, Wojtys E, Bedi A, Angelini M, Ruffino B, Bolley T, Block C, Kellum J, Swartout A, Palmieri-Smith RM. Michigan Initiative for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation (MiACLR): A Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther.* 2020 Dec 7;100(12):2154-2164.
 12. Kakavas G, Malliaropoulos N, Pruna R, Traster D, Bikos G, Maffulli N. Neuroplasticity and Anterior Cruciate Ligament Injury. *Indian J Orthop.* 2020 Jan 31;54(3):275-280.
 13. Grooms D, Appelbaum G, Onate J. Neuroplasticity following anterior cruciate ligament injury: a framework for visual-motor training approaches in rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015 May;45(5):381-93.
 14. Grooms DR, Onate JA. Neuroscience Application to Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention. *Sports Health.* 2016 Mar-Apr;8(2):149-52.
 15. Onate J., Herman D., Grooms D., Sutton Z., Wilkerson G. (2019) Neuroscience Principles for ACL Rehabilitation and Reinjury Risk Reduction. In: Noyes F., Barber-Westin S. (eds) *Return to Sport after ACL Reconstruction and Other Knee Operations.* Springer, Cham
 16. Kakavas G, Malliaropoulos N, Bikos G, Pruna R, Valle X, Tsaklis P, Maffulli N. Periodization in Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation: A Novel Framework. *Med Princ Pract.* 2021;30(2):101-108.
 17. Gokeler A, Neuhaus D, Benjaminse A, Grooms DR, Baumeister J. Principles of Motor Learning to Support Neuroplasticity After ACL Injury: Implications for Optimizing Performance and Reducing Risk of Second ACL Injury. *Sports Med.* 2019 Jun;49(6):853-865
 18. Faltus J, Criss CR, Grooms DR. Shifting Focus: A Clinician's Guide to Understanding Neuroplasticity for Anterior Cruciate Ligament Rehabilitation. *Curr Sports Med Rep.* 2020 Feb;19(2):76-83.

19. Shi DL, Li JL, Zhai H, Wang HF, Meng H, Wang YB. Specialized core stability exercise: a neglected component of anterior cruciate ligament rehabilitation programs. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2012;25(4):291-7.
20. Failla MJ, Arundale AJ, Logerstedt DS, Snyder-Mackler L. Controversies in knee rehabilitation: anterior cruciate ligament injury. *Clin Sports Med.* 2015 Apr;34(2):301-12.
21. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009 Jul 21;6(7):e1000097
22. Filbay SR, Grindem H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2019 Feb; 33(1):33-47.
23. Greenberg EM, Greenberg ET, Albaugh J, Storey E, Ganley TJ. Rehabilitation Practice Patterns Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Survey of Physical Therapists. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2018 Oct; 48(10):801-811.
24. Paredes Hernández, V.; Martos Varela, S. y Romero Moraleda, B. (2011). Propuesta de readaptación para la rotura del ligamento cruzado anterior en fútbol. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 11 (43) pp. 573-591
25. Malempati C, Jurjans J, Noehren B, Ireland ML, Johnson DL. Current Rehabilitation Concepts for Anterior Cruciate Ligament Surgery in Athletes. *Orthopedics.* 2015 Nov; 38(11):689-96.
26. Muñoz Picón, Daniel Espí López, Gemma Victoria 2014 Proceso de recuperación funcional tras lesión del ligamento cruzado anterior. *Revisión bibliográfica Fisioterapia y Divulgación* 2 3 3 12
27. Van Melick N, Van Cingel RE, Brooijmans F, Neeter C, van Tienen T, Hullegie W, Nijhuis-van der Sanden MW. Evidence-based clinical practice update: practice guidelines for anterior cruciate ligament rehabilitation based on a systematic review and multidisciplinary consensus. *Br J Sports Med.* 2016 Dec;50(24):1506-1515.
28. Yabroudi MA, Irrgang JJ. Rehabilitation and return to play after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2013 Jan;32(1):165-75.
29. Garín Zertuche DE, Reyes Padilla E, Penagos Paniagua A. Lesión del ligamento cruzado anterior. Opciones actuales de tratamiento en el deportista. *Orthotips.* 2016. Vol. 12. No. 2

30. Wilk KE, Arrigo CA. Rehabilitation Principles of the Anterior Cruciate Ligament Reconstructed Knee: Twelve Steps for Successful Progression and Return to Play. *Clin Sports Med.* 2017 Jan;36(1):189-232.
31. Bergé Ortínez C. Análisis de los protocolos de rehabilitación pre y post-cirugía del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla. Revisión bibliográfica. Universitat de Lleida. 2014, Mayo.
32. Samuel Fox A. Neuromechanics of the Lower Limb: Implications for ACL Injury Prevention. Deakin University. Thesis. 2016, June.
33. Relph N, Herrington L, Tyson S. The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. *Physiotherapy.* 2014 Sep; 100(3):187-95.
34. Lepley LK, Grooms DR, Burland JP, Davi SM, Mosher JL, Cormier ML, Lepley AS. Eccentric cross-exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: Novel case series to enhance neuroplasticity. *Phys Ther Sport.* 2018 Nov; 34:55-65
35. Lepley AS, Ly MT, Grooms DR, Kinsella-Shaw JM, Lepley LK. Corticospinal tract structure and excitability in patients with anterior cruciate ligament reconstruction: A DTI and TMS study. *Neuroimage Clin.* 2020; 25:102157

11. ANEXO DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Diagrama de flujo.

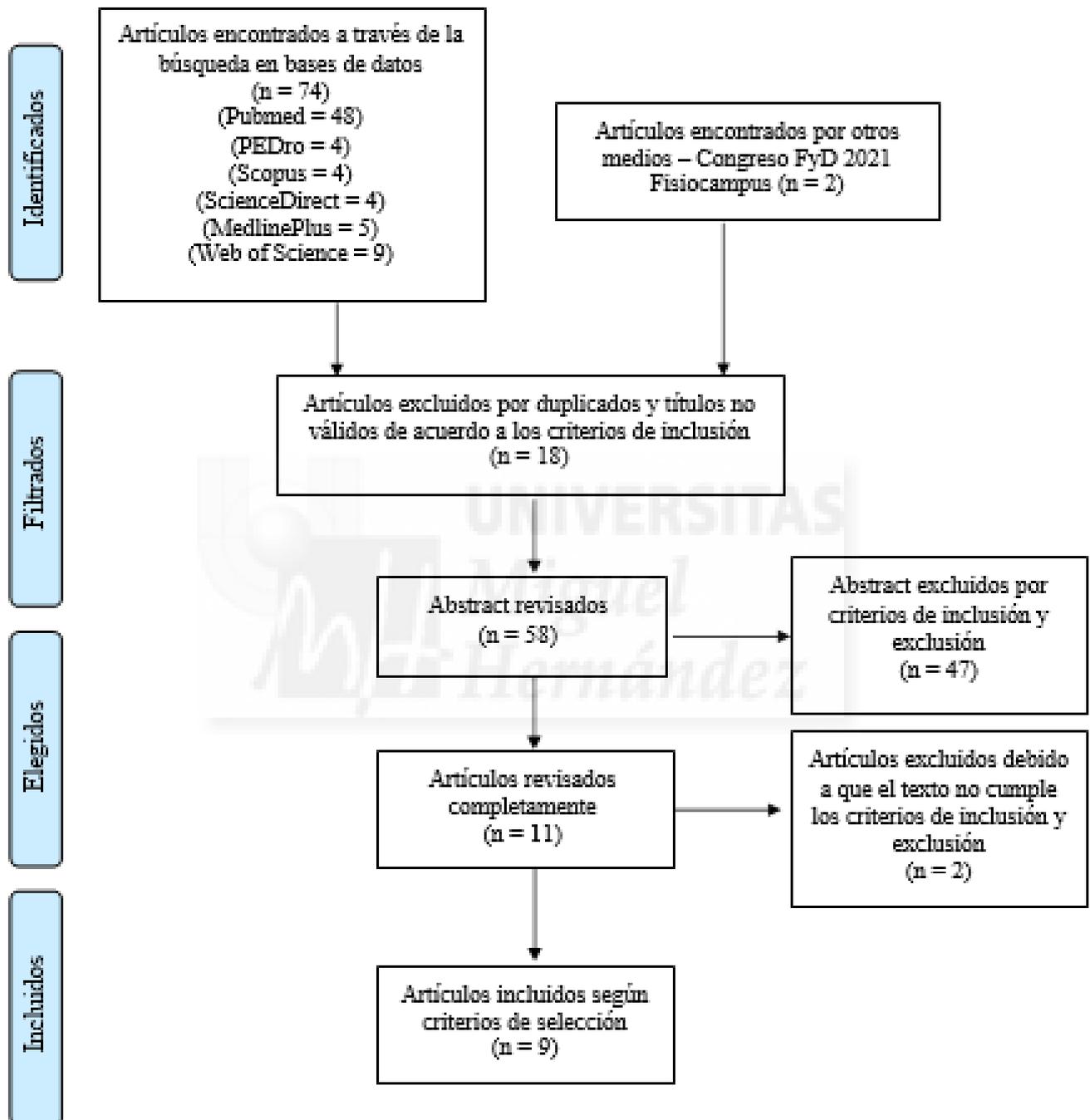


Figura 2. Programa de intervención.

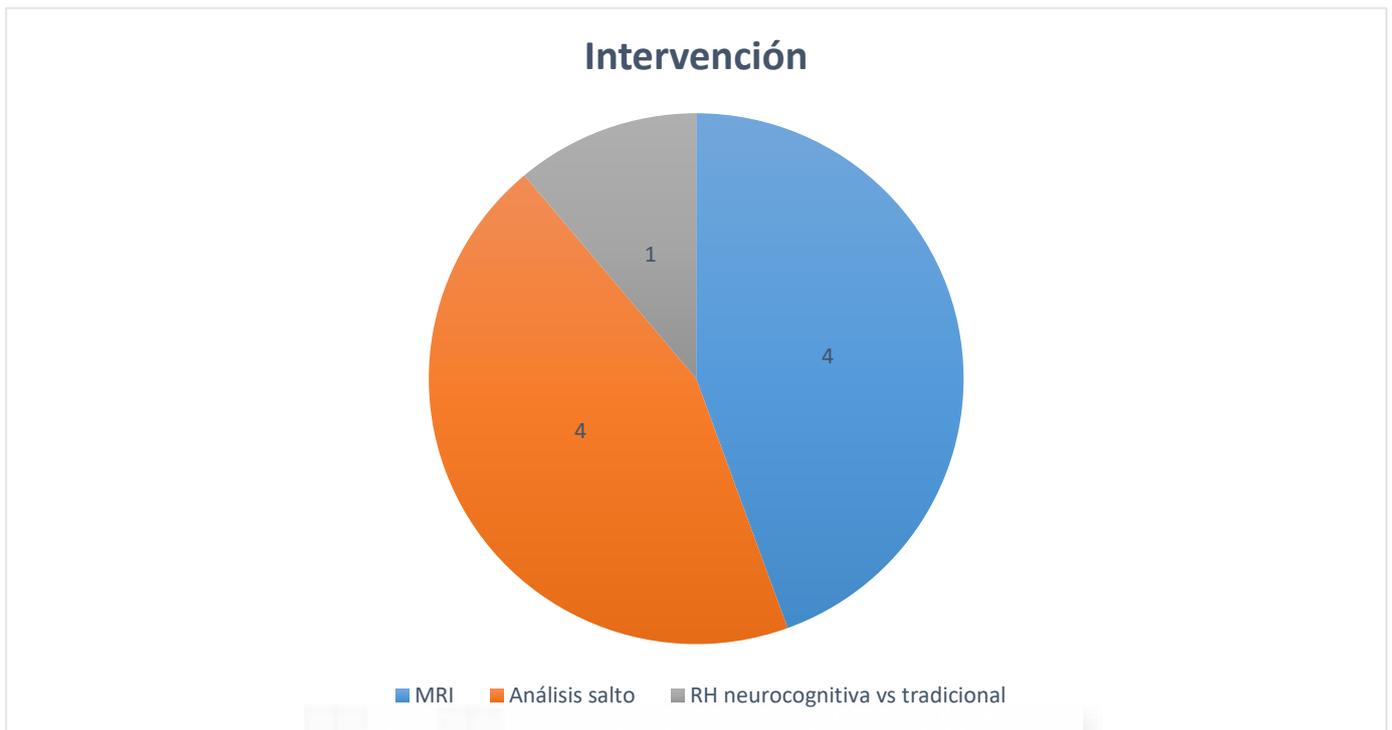


Tabla 1. Análisis de la calidad metodológica mediante escala PEDro.

ESTUDIO (Autor y año)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Score
<i>Cappellino F et al., 2012</i>	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	7
<i>Herman DC y Borth JT 2016</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
<i>Simon JE et al., 2020</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5
<i>Diekfuss JA et al., 2020</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	+	4
<i>Smeets A et al., 2021</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5

Criterio 1. Los criterios de elección fueron especificados.
 Criterio 2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos.
 Criterio 3. La asignación fue oculta.
 Criterio 4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes.
 Criterio 5. Todos los sujetos fueron cegados.
 Criterio 6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados.
 Criterio 7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados.
 Criterio 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.
 Criterio 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”.
 Criterio 10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave.
 Criterio 11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.
Se incluye un criterio adicional (1) relacionado con la validez externa (“Aplicabilidad del ensayo”) que no se sumará en el cálculo de la puntuación final.

MEDIA PUNTUACIÓN: 5,2

(+)= PRESENTE; (-)= AUSENTE

INTERPRETACIÓN: Se considera que los estudios con una puntuación entre 9 y 10 tienen una calidad metodológica excelente, los estudios con una puntuación entre 6 y 8 tienen una buena calidad metodológica, entre 4 y 5 una calidad regular y por debajo de 4 puntos tienen una mala calidad metodológica.

Tabla 2. Análisis de la calidad metodológica mediante escala NOS.

ESTUDIO (Autor y año)	Selección	Comparabilidad	Exposición	Total	Conclusión
<i>Grooms DR et al., 2015</i>	****	*	**	7	Bajo riesgo
<i>Criss CR et al., 2020</i>	****	*	**	7	Bajo riesgo
<i>Diefkuss JA et al., 2019</i>	****	**	**	8	Bajo riesgo
<i>Diekfuss JA et al., 2019</i>	****	**	**	8	Bajo riesgo
INTERPRETACIÓN: Se considera que los estudios con más de 7 asteriscos o estrellas tienen bajo riesgo de sesgo, por el contrario, aquellos que tienen menos de 7 son considerados como estudios con alto riesgo de sesgo MEDIA PUNTUACIÓN: 7,5					

Tabla 3. Resumen de los estudios seleccionados.

Autor, año	Diseño estudio	Objetivo	Población	Criterios inclusión	Intervención	Medidas de resultado	Momentos evaluación	Resultados
<i>Cappellino F et al., 2012</i>	Ensayo clínico controlado aleatorizado	Llevar a cabo un enfoque de rehabilitación tras RLCA neurocognitiva comparada con rehabilitación tradicional	14 sujetos masculinos 2 grupos: • Rehabilitación neurocognitiva (TG): 7 • Fisioterapia común (CG): 7	Varones 18-35 años con RLCA (HTH y BTB) por el mismo cirujano sin lesiones asociadas	Las dos semanas postquirúrgicas = tto TG y CG . • Grupo TG: Ojos cerrados, reconocimiento objetos, texturas, posiciones y trayect. Ejercs transferencias y reconocimiento a ≠ grados y altura • Grupo CG: Ext completa 0° y 90° de flexión, entrenamiento fuerza submáximo y poster a 70-100% de mom artic máx junto con actividad deportiva	Evaluaciones baropodométric y de marcha, evaluaciones clínicas (EVA, ROM, trofismo muslo, hinchazón y MMT), evaluación calidad de vida por SF-36 y MRI	Antes de la intervención quirúrgica, al primer mes, a los 3 y a los 6 meses	TG < deterioro CG en asimetría carga durante la baropodometría estática, hinchazón y pasos < cortos en la marcha. Mejor evaluac en SF-36 para TG y se observó > velocidad de marcha para CG
<i>Herman DC y Borth JT., 2016</i>	Ensayo clínico controlado no aleatorizado	Observar si dominios neurocognitiv influyen en el riesgo de lesión del LCA	37 atletas 2 grupos según CRI (Concussion Resolution Index): • Alto rendim (HP): 20 • Bajo rendim (LP): 17	Sujetos 18-30 años varones /mujeres que realizaran deportes de salto o corte 3 veces/sem sin lesiones actuales o previas	5 rep de saltos = ambos grupos con una caja de 30 cm de altura. Debían pararse en la caja, saltar hacia adelante al suelo con ambos pies, aterrizar sobre el objetivo y saltar de nuevo verticalm a máx esfuerzo	Datos cinemáticos y cinéticos mediante sensores y programa informático para la pierna dominante (Labview)	Una única vez tras el primer salto de aterrizaje	Grupo LP < rendimiento neuromuscular durante fase de aterrizaje, con > fuerza máx de reacción vertical, fuerza cizallamiento tibial anterior, pico rodilla momento de ABD y < ángulo flexión de tronco

<p><i>Simon JE et al., 2020</i></p>	<p>Ensayo clínico controlado no aleatorizado</p>	<p>Ver la relación entre cuatro pruebas de salto y cuatro pruebas neurocognitiv a una sola pierna.</p>	<p>22 sujetos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 grupo: 9 hombres y 13 mujeres 	<p>Sujetos 18-25 años de estud universitarios sanos realiz 1h deporte 3 días/semana</p>	<p>8 saltos</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 primeros: Salto de una sola pierna para distancia, salto de una sola pierna de 6 m por tiempo, uno cruzado de una sola pierna para distancia y uno triple de una sola pierna para distancia. • 4 últimos: = que los anteriores pero con componente neurocognitivo 	<p>Distancia máxima (salto de una sola pierna, salto cruzado de una sola pierna, salto triple de una sola pierna) y el tiempo más rápido (salto de 6 m de una sola pierna)</p>	<p>Una sola vez tras realizar el salto</p>	<p>Salto cruzado, triple salto y el de 6 m fueron estadísticamente diferentes entre las condiciones tradicionales y neurocognitivas ($p < 0,05$).</p>
<p><i>Diekfuss JA et al., 2020</i></p>	<p>Ensayo clínico preliminar controlado no aleatorizado</p>	<p>Evaluar eficacia entrenamiento neuromuscular aumentado (aNMT) para mejorar la biomecánica de aterrizaje y aumentar la conectividad funcional cerebral sensoriomotora relacionada con la rodilla</p>	<p>30 sujetos mujeres</p> <p>2 grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anmt: 17 • Control: 13 	<p>Mujeres jugadoras de fútbol sin patologías previas</p>	<p>Grupo aNMT: 3 seman 3 veces/sem entrenam pliometría, fortalecim y equilib del CORE, resistenc y velocid y un ejerc de interacción con un estímulo de biorretroalimentac visual en tiempo real que fue un salto vertical desde una caja de 30 cm con otro salto vertical al aterrizar (DVJ)</p> <p>Grupo control: 2 sesiones MRI</p>	<p>DVJ con captura de movim junto a MRI en estado de reposo. Sistema de análisis de movimiento digital y plataformas de fuerza.</p>	<p>Antes y después de DVJ y 7 semanas después. Se calcularon las puntuaciones de cambio porcentual para el pKAM (momento pico de aducción) (pre a post) para cada grupo</p>	<p>No se observaron diferencias significativas en pKAM en el momento previo entre los dos grupos ($p > 0.05$). Sin embargo, el cambio porcentual en pKAM fue significativamente mayor para el grupo aNMT</p>

<p><i>Smeets A et al., 2021</i></p>	<p>Ensayo clínico controlado no aleatorizado</p>	<p>Evaluar el aumento de la carga cognitiva y los desafíos ambientales impredecibles en el control neuromuscular en RLCA.</p>	<p>40 sujetos 2 grupos <ul style="list-style-type: none"> • RLCA: 20 • Control: 20 </p>	<p>RLCA con autoinjerto de semitendinoso, deportistas con acciones de salto, pivote o corte. Grupo control sin lesiones LCA</p>	<p>Ambos grupos = trabajo 8 meses tras RLCA: tarea de descenso en cuatro condiciones: sin desafíos adicionales, mientras se realiza doble tarea cognitiv, mientras tiene lugar una perturbación de la superf de apoyo impredecible, y con la combinación de las dos últimas</p>	<p>Las activaciones musculares del VM, VL, HM, HL, GM, GL, GlutMed se registraron con EMG de superficie</p>	<p>Una única vez tras realizar cada una de las cuatro pruebas</p>	<p>RLCA > HM y activación de HL y < activación de VM frente a controles. RLCA < VM, VL y activación de GL entre tareas perturbadas y no perturbadas frente a controles. Además, bajo carga cognitiva hubo < activación de HM en grupo RLCA frente al grupo control.</p>
<p><i>Grooms DR et al., 2015</i></p>	<p>Caso control</p>	<p>Describir activid cerebral para el control motor de rodilla medida tras RLCA inicial y 3 sem antes de una lesión del LCA contralateral</p>	<p>2 sujetos: <ul style="list-style-type: none"> • 1 caso • 1 control </p>	<p>El sujeto con RLCA debía ser joven y activo antes de la lesión. Sin otras lesiones y patologías. El caso no podía tener lesiones en la rodilla en ese momento ni previas</p>	<p>Movimientos unilaterales de flexoextensión de rodilla. 4 series de 30 segundos mediante señal auditiva medida con metrónomo 1,2 Hz</p>	<p>Análisis de resonancia magnética funcional (fMRI)</p>	<p>Una sola vez tras realizar las cuatro series</p>	<p>El participante con RLCA > activación áreas planificación motora, procesam sensorial y control visomotor frente al control. Un patrón de activación similar estaba presente para la rodilla contralateral que sufrió una lesión posterior de LCA</p>

<i>Criss CR et al., 2020</i>	Caso control	Comprender los efectos de la lesión en el control neuronal del mvto de miembro inf y las ≠ neuronales entre los individuos con RLCA frente a los controles sanos	30 sujetos. 2 grupos • RLCA izdo: 15 • Ilesos: 15	7 hombres y 8 mujeres en cada grupo. Los sujetos del grupo RLCA debían haber sido intervenidos con autoinjerto de isquiotibiales	Cada sujeto de ambos grupos realizó 4 ciclos de flexo-extensión de rodilla-cadera con metrónomo auditivo (30 seg con 30 seg de reposo) después de cada ciclo en decúbit supino (DS) en el escáner de MRI	Análisis de resonancia magnética funcional (fMRI)	Una sola vez tras finalizar los cuatro ciclos	RLCA requerían > actividad y conectividad en áreas responsables de la cognición y orientación visual-espacial, y atención para el control motor de la cadera y la rodilla
<i>Diefkuss JA et al., 2019</i>	Caso control	Presentar un conjunto datos neurológico prospectivo único para los pacientes con lesión de LCA	10 sujetos mujeres 2 grupos: • Rotura LCA: 2 • Ilesos: 8	Mujeres adolescentes activas jugadoras de fútbol sin lesiones de rodilla previas ni otras patologías	fMRI en 57 mujeres en pretemporada con flexoextensión de rodilla con un metrónomo auditivo. En la temporada se lesionaron de LCA 2 de las 57 y se les comparó con 8 ilesas que hubieran tenido características similares	Análisis de resonancia magnética funcional (fMRI)	Una sola vez tras comparar las 2 lesionadas con las 8 escogidas no lesionadas	Se observó una conectividad < entre la corteza sensorial primaria izda (propiocepción) y el lóbulo posterior dcho del cerebelo (equilib y coordin) entre los 2 casos frente a controles
<i>Diefkuss JA et al., 2019</i>	Caso control	Conjunto datos prospectivo para examinar ≠ en la conectividad cerebral funcion en atletas masculinos con lesión de LCA en relación con sus compañeros no lesionados.	15 hombres 2 grupos: • 2 con rotura de LCA (casos) • 12 ilesos (controles)	Varones adolescentes físicamente activos (jugadores fútbol americano) sin antecedentes de lesiones de rodilla ni otras patologías	fMRI de rodilla en estado de reposo en 60 jugadores antes de su temporada para evaluar la conectividad cerebral funcional en estado de reposo. Durante la temporada, 3 se rompieron el LCA y se les comparó con 12 con características similares	Análisis de resonancia magnética funcional (fMRI)	Una sola vez tras comparar los 3 lesionados con los 12 controles	< conectividad entre la corteza somatosensorial secundaria izda y el área motora suplement izda, corteza pre-motora dcha , área motora suplement dcha, corteza somatosens primaria izda, y corteza motora primaria izda para el LCA frente a controles