

UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA

Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

Trabajo Fin de Grado

Curso 2024-2025

**Estrategias basadas en ejercicio terapéutico para
prevenir las lesiones de Ligamento Cruzado Anterior en
mujeres deportistas: Una revisión sistemática**



**Universidad
Europea**

Autoras

Ilona Maricot

Axelle Tach

Tutora

Diana Gallego De Marcos

Valencia, 2025

**Estrategias basadas en ejercicio terapéutico para
prevenir las lesiones de Ligamento Cruzado Anterior en
mujeres deportistas: Una revisión sistemática**

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR:

Ilona Maricot
Axelle Tach

TUTORA DEL TRABAJO:
Diana Gallego De Marcos

**FACULTAD DE FISIOTERAPIA
UNIVERSIDAD EUROPEA DE VALENCIA**

VALENCIA

CURSO 2024-2025

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	- 4 -
1.1 Anatomía funcional de la rodilla y de LCA	- 4 -
1.2 Factores de riesgo de la lesión del LCA en mujeres	- 6 -
1.3 Prevención y ejercicio terapéutico	- 7 -
1.4 Justificación del estudio	- 8 -
2. OBJETIVOS	- 9 -
2.1 Objetivo Principal:	- 9 -
2.2 Objetivos Especificos:	- 9 -
3. MATERIAL Y MÉTODOS	- 10 -
3.1 Tipo y diseño general del estudio	- 10 -
3.2 Criterio de elegibilidad	- 10 -
3.2.1 <i>Pregunta de investigación</i>	- 10 -
3.3 Criterios de inclusión y exclusión	- 11 -
3.4 Estrategia de búsqueda	- 12 -
3.4.1 <i>Diagrama de flujo</i>	- 14 -
3.5 Evaluación de la calidad metodológica (PEDro)	- 14 -
3.6 Variables	- 17 -
4. RESULTADOS	- 20 -
5. DISCUSIÓN	- 26 -
5.1 Valoración de la incidencia lesional	- 26 -
5.2 Características principales de los programas de prevención	- 27 -
5.3 Comparación entre ejercicio de control neuromuscular y trabajo de fuerza y propiocepción	- 29 -
5.4 Modalidades de ejercicio con mayor eficacia preventiva	- 31 -
5.5 Duración óptima del programa preventivo	- 32 -
6. LIMITACIONES	- 34 -
7. CONCLUSIONES	- 35 -
8. AGRADECIMIENTOS	- 36 -
9. REFERENCIAS	- 37 -
10. ANEXOS	- 40 -

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

LCA: Ligamento Cruzado Anterior

DKV: *Dinamic Knee Valgus*

LESS: *Landing Error Scoring System*

pKAM: Momento de abduccion de la rodilla

aNMT: Entrenamiento neuromuscular aumentado

RCT : Ensayos clinicos aleatorizados

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESTRATEGIA DE BUSQUEDA- 13 -

TABLA 2: EVALUACION DE LA CALIDAD METODOLOGICA (PEDRO)- 15 -

TABLA 3: RESULTADOS COMPARATIVOS DE NUESTRA REVISION SISTEMATICA.....- 20 -

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ANATOMÍA DE LA RODILLA	- 5 -
FIGURA 2: PREGUNTA PICO	- 10 -
FIGURA 3: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA BUSQUEDA BIBLIOGRAFICA SEGUN PRISMA	- 14 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: LISTA DE VERIFICACION PRISMA.....	- 40 -
ANEXO 2: ESCALA PEDRO.....	- 40 -
ANEXO 3: SAMPLE SIZE CALCULATION AND EXPECTED OUTCOMES	- 41 -
ANEXO 4: EFFECT OF INTERVENTION ON CO-ACTIVATION AND KNEE VALGUS ANGLE INDEX -	42
-	
ANEXO 5: UNADJUSTED AND COVARIATE ADJUSTED DESCRIPTIVE STATISTICS, AND PAIRED T TEST, FOR PRE-POST-INTERVENTION PEAK KNEE MOMENTS (NM/KG/M)	- 43 -
ANEXO 6: ANALYSIS OF COVARIANCE : TRAINING GROUP (ONCE VS THRICE-WEEKLY) EFFECT ON KNEE MOMENTS (CONTROLLED FOR PRE-INTERVENTION KNEE MOMENTS)	- 44 -
ANEXO 7: NON- CONTACT INJURY DATA RECORDED DURING THE DIFERENT PERIODS OF THE SEASON.....	- 45 -
ANEXO 8: EFFECTS OF THE INTERVENTION ON MUSCLE ACTIVATION, PROPIOCEPTION, AND MOVEMENT QUALITY : GROUP X TIME INTRACTION ANALYSIS	- 46 -
ANEXO 9: COMPARISON OF REAL VS SIMULATED FEEDBACK ON SQUAT PERFORMANCE DURING ACQUISITION AND LEARNING PHASES.....	- 47 -
ANEXO 10: RELATIONSHIP BETWEEN PKAM IMPROVEMENT AND POST-INTERVENTION FUNCTIONAL CONNECTIVITY IN ANMT PARTICIPANTS	- 48 -
ANEXO 11: EFFECTS OF AUGMENTED NEUROMUSCULAR TRAINING ON BRAIN CONNECTIVITY AND KNEE BIOMECHANICS.....	- 48 -
ANEXO 12: EVALUATION FRAMEWORK FOR PRE-TO-PLAY PROGRAM : USAGE AND ACL INJURY REDUCTION OUTCOMES.....	- 49 -
ANEXO 13: INTRAGROUP AND INTERGROUP DIFFERENCES FOR KINETIC VARIABLE	- 50 -
ANEXO 14: TABLA QUE ANALIZA LOS METODOS UTILIZADOS PARA MEDIR LA INDICENCIA DE LESIONES DEL LCA (ELABORACION PROPIA).....	- 50 -
ANEXO 15: TABLA QUE DESCRIBE LOS COMPONENTES CLAVES DE LOS PROGRAMAS DE PREVENCIÓN MAS EFICACES (ELABORACION PROPIA)	- 51 -

ANEXO 16: TABLA DE COMPARACION DE PROGRAMAS DE EJERCICIO TERAPEUTICO PARA PREVENIR LESIONES DEL LCA (ELABORACION PROPIA)..... - 52 -

ANEXO 17: TABLA QUE DETERMINA EL EJERCICIO TERAPEUTICO MAS EFICAZ PARA REDUCIR LOS FACTORES DE RIESGO BIOMECANICOS (ELABORACION PROPIA) - 53 -

ANEXO 18: TABLA PARA DETERMINAR LA DURACION OPTIMA DE UN PROGRAMA PREVENTIVO EFICAZ. (ELABORACION PROPIA) - 54 -

RESUMEN

Introducción: Las lesiones del Ligamento Cruzado Anterior (LCA) son frecuentes y pueden tener consecuencias graves en las mujeres deportistas. Suelen producirse sin contacto directo, lo que indica la posibilidad de reducir su incidencia mediante estrategias adecuadas. Existen múltiples factores de riesgo, algunos modificables como la fatiga o la biomecánica, y otros no modificables como la anatomía o los factores hormonales. El ejercicio terapéutico se plantea como una herramienta eficaz dentro de la prevención. Este trabajo tiene como objetivo evaluar su efectividad específica en las mujeres.

Objetivo: Evaluar la eficacia de un programa basado en ejercicio terapéutico sobre la incidencia de lesión de LCA en mujeres deportistas.

Material y métodos: Se realizó una revisión sistemática. La estrategia de búsqueda se efectuó en PubMed, Web of Science, Scopus, Medline, Dialnet y PEDro, desde Octubre 2024 hasta Febrero 2025. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados (RCT), ensayos cruzados y ensayos longitudinal con grupo control que evaluaron el efecto de los programas de prevención valorando la incidencia lesional, el valgo dinámico de rodilla, el momento de abducción de la rodilla (pKAM), el LESS (Landing Scoring System) y la fuerza muscular. La calidad metodológica fue evaluada con la escala PEDro.

Resultados: Se incluyeron nueve estudios en la revisión. Ocho de ellos reportaron mejoras en factores biomecánicos asociados al riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA), como la reducción del valgo dinámico, del momento de abducción de rodilla y de la fuerza de impacto durante el aterrizaje. Cinco estudios mostraron mejoras en la activación muscular, la coactivación y el control neuromuscular tras intervenciones como el entrenamiento neuromuscular o el biofeedback. Cuatro estudios observaron una disminución en la incidencia de lesiones tras la implementación de programas preventivos estructurados. Además, dos estudios identificaron cambios positivos en la conectividad cerebral funcional o en la adherencia a programas de prevención a gran escala.

Conclusión: Los programas basados en ejercicio terapéutico resultan eficaces para reducir el riesgo de lesión del LCA en mujeres deportistas. Estos programas mejoran el control neuromuscular. Su eficacia aumenta cuando se combinan con ejercicios de fuerza, propiocepción y retroalimentación externa, dentro de una planificación progresiva y adaptada al deporte. Para obtener los mejores resultados posibles, se recomienda una duración mínima de seis semanas, siendo más efectiva entre ocho y doce semanas. Aun así, se necesitan estudios con mayor calidad metodológica y seguimiento a largo plazo para confirmar estos efectos preventivos.

Palabras clave: Ligamento Cruzado Anterior, Mujeres, Deportistas, Atletas, Prevención de lesiones, Ejercicio terapéutico.

ABSTRACT

Introduction: Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are common and can have serious consequences in female athletes. They usually occur without direct contact, which indicates the possibility of reducing their incidence through appropriate strategies. There are multiple risk factors, some modifiable such as fatigue or biomechanics, and others non-modifiable such as anatomy or hormonal factors. Therapeutic exercise is proposed as an effective tool for prevention. The aim of this work is to evaluate its specific effectiveness in women.

Objective: To evaluate the effectiveness of a program based on therapeutic exercise on the incidence of ACL injury in female athletes.

Material and methods: A systematic review was carried out. The search strategy was conducted in PubMed, Web of Science, Scopus, Medline, Dialnet, and PEDro, from October 2024 to February 2025. Randomized controlled trials (RCTs), crossover trials, and longitudinal trials with a control group that evaluated the effect of prevention programs were included, assessing injury incidence, dynamic knee valgus, knee abduction moment (pKAM), LESS (Landing Error Scoring System), and muscular strength. Methodological quality was assessed using the PEDro scale.

Results: Nine studies were included in the review. Eight of them reported improvements in biomechanical factors associated with the risk of anterior cruciate ligament (ACL) injury, such as the reduction of dynamic valgus, knee abduction moment, and impact force during landing. Five studies showed improvements in muscle activation, coactivation, and neuromuscular control after interventions such as neuromuscular training or biofeedback. Four studies observed a decrease in injury incidence after the implementation of structured prevention programs. Additionally, two studies identified positive changes in functional brain connectivity or in adherence to large-scale prevention programs.

Conclusion: Therapeutic exercise-based programs are effective in reducing the risk of ACL injury in female athletes. These programs improve neuromuscular control. Their effectiveness increases when combined with strength exercises, proprioception, and external feedback, within a progressive plan tailored to the sport. To achieve the best possible results, a minimum duration of six weeks is recommended, with a more effective duration between eight and twelve weeks. Nevertheless, studies with higher methodological quality and long-term follow-up are needed to confirm these preventive effects.

Keywords: Anterior Cruciate Ligament, Women, Athletes, Injury Prevention, Therapeutic Exercise.

DECLARACIÓN DEL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

(IA):

Supuesto 2.

Declaro que en este trabajo/actividad utilicé ChatGPT, para la reformulación de frases y corrección de errores gramaticales y ortográficos en el resumen de un texto académico, para las correctas formulaciones. Las indicaciones “prompts” que utilicé fueron las siguientes:

- Hazme un resumen más corto y directo.
- ¿Puedes corregir la ortografía y la gramática de este párrafo?
- Reformula este resumen con un lenguaje más académico
- ¿Puedes revisar si hay errores de estilo o coherencia en este fragmento

Autoevaluación

¿Por qué elegiste esta(s) herramienta(s) de IA?

Porque ayuda a corregir errores gramaticales y giros idiomáticos.

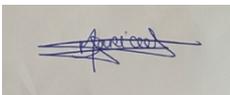
¿Hubieras podido llegar a los resultados a los que has llegado sin el uso de esta(s) herramientas de IA?

Sí, pero el proceso habría sido más lento y con mayor riesgo de cometer errores gramaticales o de estilo porque somos franceses y entonces no es nuestra lengua materna entonces es más difícil de escribir. La IA facilitó una revisión más rápida y precisa del texto, mejorando la calidad del resumen final.

NOMBRE ALUMNOS: Ilona y Axelle

FECHA: 13 de mayo de 2025

FIRMAS:



1. INTRODUCCIÓN

La rodilla es una de las articulaciones con mayor prevalencia de lesiones en el deporte con cambios de dirección. La rotura del ligamento cruzado anterior (LCA) de la rodilla es de una importancia epidemiológica de primer orden (1).

La tasa de lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA) varía en función del género, del deporte y según los programas de prevención. Esta es mayor en las mujeres respecto a los hombres, y se observa una mayor incidencia en deportes como el fútbol y el baloncesto (2).

En comparación con otros deportes colectivos como el baloncesto o el voleibol, el fútbol presenta una incidencia más alta de lesiones del LCA, especialmente en mujeres. De hecho, se estima que en el fútbol femenino las lesiones de rodilla representan hasta el 30,4 % del total, y dentro de estas, un 39,4 % corresponden específicamente al LCA. Además, se ha observado que aproximadamente el 70 % de estas lesiones ocurren sin contacto directo, lo que sugiere la posibilidad de intervención mediante estrategias preventivas (3).

Dada la alta frecuencia y gravedad de esta patología en mujeres deportistas, se hace evidente la necesidad de implementar medidas de prevención eficaces. En este contexto, el presente trabajo se fundamenta en una revisión sistemática como herramienta clave para analizar los hallazgos de los estudios disponibles sobre estrategias basadas en ejercicio terapéutico que pueden contribuir a la prevención de lesiones del LCA en esta población.

1.1 Anatomía funcional de la rodilla y de LCA

La rodilla es una articulación compleja que conecta el fémur con la tibia, y cuenta con múltiples estructuras estabilizadoras, entre ellas los ligamentos laterales y cruzados (Ver **Figura 1**) (3). Su estabilidad depende del equilibrio entre estos elementos pasivos y la acción muscular, especialmente durante los movimientos de flexión y extensión (4).

El ligamento cruzado anterior (LCA), situado dentro de la articulación pero fuera de la cavidad sinovial, se extiende desde la parte anteromedial de la tibia hasta el cóndilo femoral lateral (5). Está compuesto por dos haces principales anteromedial y pósterolateral aunque estudios recientes han identificado hasta tres haces en la mayoría de las rodillas (5).

La función principal del LCA es evitar el desplazamiento anterior de la tibia respecto al fémur, conocido como "cajón anterior", estabilizar la rodilla frente a movimientos de valgo y controlar la rotación tibial, especialmente entre 0° y 30° de extensión. Durante actividades deportivas, este ligamento soporta entre el 85 % y el 87 % de la carga en flexión, lo que lo convierte en una estructura clave para mantener la integridad articular. Diferencias biomecánicas

entre hombres y mujeres, como el valgo dinámico o mayores momentos de flexión en las mujeres, pueden aumentar el riesgo de lesión del LCA durante la práctica deportiva (3).

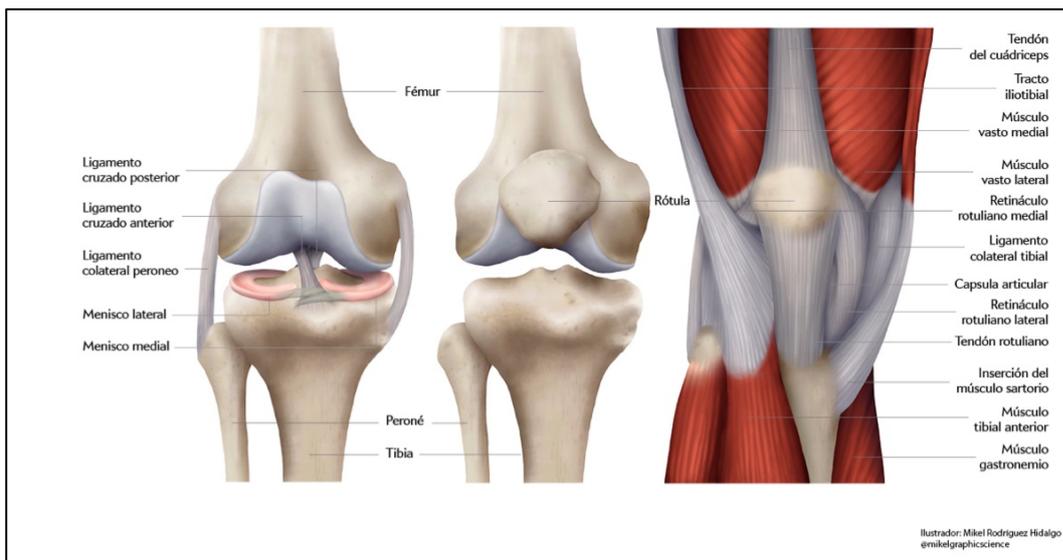
En el ámbito del fútbol femenino, el LCA es una de las lesiones más frecuentes y graves, con un impacto significativo tanto en la salud de las deportistas como en su rendimiento y continuidad deportiva. Esta lesión requiere un largo período de recuperación alrededor de 10 meses tras la intervención quirúrgica y se ha identificado que aproximadamente el 70 % de los casos ocurren sin contacto directo, lo que sugiere que muchas de ellas podrían prevenirse (3).

Estudios epidemiológicos indican que las mujeres futbolistas presentan una tasa de lesión del LCA hasta tres veces mayor que sus homólogos masculinos, con una incidencia anual del 5 % frente al 1,7 %. En Europa, las lesiones de rodilla representan el 26 % del total en el fútbol femenino, y en España alcanzan el 30,4 %, siendo las lesiones del LCA las más frecuentes dentro del grupo de lesiones ligamentosas (3).

El cartílago articular de la rodilla es un tipo de tejido conjuntivo especial que permite el correcto movimiento de la articulación. Su función es facilitar el movimiento mediante un contacto suave entre la rótula, el fémur y la tibia, teniendo asimismo suficiente resistencia ante la fricción (6).

Dada la alta incidencia y las graves consecuencias de esta lesión, se hace evidente la importancia de implementar estrategias de prevención eficaces. En este contexto, el presente trabajo se fundamenta en una revisión sistemática con el objetivo de analizar las estrategias basadas en ejercicio terapéutico para la prevención de lesiones del LCA en mujeres deportistas.

Figura 1: Anatomía de la rodilla



Fuente: (3)

Leyenda: Extraído de Anatomía de la rodilla [fotografía], por Rodríguez, 2019, Wikimedia Commons (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=82790704>). CC BY-SA 4.0.

1.2 Factores de riesgo de la lesión del LCA en mujeres

Una lesión se define como un daño corporal resultante de una exposición aguda a energía mecánica, térmica, eléctrica, química o radiante, o bien de la insuficiencia de un elemento vital (7).

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) pueden producirse tanto por contacto como sin él. En el caso de las deportistas femeninas, el cambio repentino de dirección o velocidad con el pie apoyado en el suelo constituye el mecanismo más común de ruptura del LCA. Asimismo, esta lesión se asocia con acciones que implican una rápida desaceleración, así como con aquellas que requieren la fijación del pie para cambiar de dirección (1). Además, se ha vinculado con movimientos que incluyen aterrizajes tras saltos, giros o impactos en la parte anterior de la tibia (3).

En la literatura científica, los factores de riesgo asociados a la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) se dividen en factores extrínsecos e intrínsecos. Dentro de los intrínsecos, es fundamental distinguir entre aquellos que son modificables y los que no lo son, ya que esta clasificación permite orientar de forma más eficaz las estrategias de prevención (4).

Entre los factores no modificables, se encuentra el historial lesivo previo. Se ha observado que las jugadoras que han sufrido anteriormente una rotura del LCA tienen hasta cinco veces más probabilidades de volver a lesionarse. También se han identificado ciertos componentes genéticos que podrían aumentar la vulnerabilidad del LCA, aunque estos todavía requieren mayor investigación. Otro factor relevante es el hormonal: los cambios hormonales durante el ciclo menstrual parecen tener un impacto en la estabilidad articular y el control neuromuscular. El estudio mostró que las mujeres futbolistas presentan una mayor incidencia de lesiones durante la fase lútea del ciclo. Además, se ha comprobado que los estrógenos pueden influir en la integridad del LCA, ya que existen receptores estrogénicos en los fibroblastos del ligamento, lo que puede reducir la síntesis de procolágeno y debilitar su estructura (4). Finalmente, también deben considerarse factores anatómicos como el mayor ancho pélvico en mujeres, que conlleva un aumento del ángulo Q (es el ángulo que se forma entre el muslo y la pierna, pasando por la rótula, y sirve para ver cómo está alineada la pierna con respecto a la pelvis), favoreciendo el valgo dinámico y elevando así el riesgo de lesión. La laxitud ligamentaria, especialmente tras una cirugía del LCA, también puede predisponer a nuevas lesiones (4).

Por otro lado, los factores modificables ofrecen oportunidades concretas de intervención. Uno de ellos es la fatiga muscular, que disminuye la activación de los isquiotibiales durante acciones de impacto, comprometiendo la estabilidad de la rodilla. Asimismo, se ha observado que una biomecánica inadecuada de la pisada, especialmente en casos de pronación excesiva o continua, incrementa el riesgo de sufrir una lesión del LCA. Los factores neuromusculares y biomecánicos constituyen un área clave de intervención, ya que pueden modificarse a través de

programas específicos de prevención. Un ejemplo relevante es la capacidad de coactivación entre el cuádriceps y los isquiotibiales: esta coordinación protege la articulación al limitar la traslación anterior de la tibia respecto al fémur y controlar los movimientos de abducción y valgo. En mujeres, se ha descrito una activación anticipada de los isquiotibiales durante el apoyo, lo que podría alterar el equilibrio muscular y aumentar el riesgo de lesión del LCA (4).

El conocimiento de estos factores permite desarrollar programas de prevención basados en la corrección de los aspectos modificables, con el objetivo de reducir la incidencia de lesiones del LCA en mujeres deportistas y mejorar su rendimiento y seguridad durante la práctica deportiva.

1.3 Prevención y ejercicio terapéutico

El ejercicio terapéutico se define como una amplia gama de procedimientos basados en el movimiento, utilizados para reducir la discapacidad y mejorar la capacidad funcional y aptitud física. Este se puede aplicar en procesos de prevención y recuperación de diversas condiciones, que abarcan afecciones neurológicas, cardiorrespiratorias y musculoesqueléticas (9).

Se caracteriza por su aplicación sistemática en personas con lesiones o alteraciones funcionales, y por tener un objetivo claramente terapéutico, ya sea curativo o preventivo. Desde esta perspectiva, el ejercicio terapéutico puede entenderse como un plan de actividad física prescrito específicamente para facilitar la recuperación de funciones alteradas por enfermedades o lesiones, así como para prevenir disfunciones futuras. Su propósito es corregir deficiencias, restaurar la función muscular y articular, y mantener un estado general de bienestar (8).

En el ámbito de la fisioterapia, la prescripción de ejercicio terapéutico es una competencia avanzada que requiere formación específica basada en la evidencia científica. Los fisioterapeutas elaboran programas adaptados a las necesidades individuales del paciente, siguiendo un proceso clínico riguroso cuyo objetivo es recuperar, prevenir y optimizar las capacidades físicas mediante ejercicios con enfoque rehabilitador (8).

En relación con la prevención de lesiones del LCA, el ejercicio terapéutico resulta especialmente relevante, ya que permite intervenir sobre los factores de riesgo modificables. A través de ejercicios de fuerza, se busca equilibrar la musculatura agonista y antagonista de la rodilla, mientras que el trabajo neuromuscular y propioceptivo mejora el control motor y la estabilidad articular. La pliometría, por su parte, contribuye a optimizar la coordinación, la velocidad de reacción y la técnica en acciones explosivas como saltos o cambios de dirección, reduciendo así el riesgo de mecanismos lesionales comunes en deportes como el fútbol (4).

Se ha observado que las atletas, especialmente tras la pubertad, presentan un desequilibrio entre el rápido crecimiento corporal y el desarrollo del control neuromuscular. Esta falta de adaptación puede favorecer la aparición de déficits propioceptivos y aumentar el riesgo

de lesión del LCA. Por ello, se han desarrollado programas de prevención basados en el entrenamiento neuromuscular y la educación postural, enfocados en enseñar gestos funcionales y optimizar la técnica deportiva, teniendo en cuenta características como la anatomía o la laxitud ligamentosa. Estos programas se aplican tanto en edades tempranas como en deportistas adultas, especialmente en fases previas a la competición (4).

Aunque existen numerosos protocolos preventivos basados en el ejercicio terapéutico, actualmente no hay un consenso claro sobre cuál es el más eficaz, especialmente en mujeres deportistas. Esto refleja la necesidad de continuar investigando y adaptando las estrategias de intervención a las particularidades de este grupo poblacional.

1.4 Justificación del estudio

En la actualidad, no existe un consenso definitivo en la literatura científica sobre cuáles son las estrategias más eficaces para prevenir las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA), particularmente en mujeres deportistas. Aunque se han propuesto diversos enfoques preventivos basados en ejercicios de fuerza, propiocepción, control neuromuscular o pliometría, los resultados reportados por los estudios disponibles son inconsistentes y, en muchos casos, difíciles de comparar debido a diferencias metodológicas, poblacionales o en la duración de las intervenciones.

Esta falta de homogeneidad en la evidencia se agrava en el caso de las mujeres, quienes presentan una mayor predisposición a sufrir este tipo de lesiones, pero continúan estando infrarrepresentadas en la investigación. La mayoría de los programas preventivos han sido desarrollados con poblaciones mixtas o masculinas, sin considerar de forma específica las características anatómicas, fisiológicas y biomecánicas propias de las atletas femeninas.

Por todo ello, se hace necesaria una revisión centrada exclusivamente en mujeres deportistas, que analice de manera crítica la eficacia de los distintos tipos de ejercicio terapéutico en la prevención de lesiones del LCA. Esta perspectiva permite tener en cuenta factores diferenciales clave, como el ángulo Q, la influencia hormonal o los patrones de activación neuromuscular, los cuales son fundamentales para diseñar intervenciones realmente efectivas y adaptadas a este grupo. En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivo revisar la evidencia científica disponible sobre la eficacia del ejercicio terapéutico en la prevención de lesiones del LCA en mujeres deportistas.

2. OBJETIVOS

Dada la relevancia de la prevención en las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) y la necesidad de conocer qué estrategias basadas en ejercicio terapéutico son más efectivas, se plantea la siguiente revisión sistemática. Para ello, se han establecido los siguientes objetivos:

2.1 Objetivo Principal:

Evaluar la eficacia de un programa basado en ejercicio terapéutico sobre la incidencia de lesiones del LCA en mujeres deportistas.

2.2 Objetivos Específicos:

- Analizar los métodos empleados en la literatura científica para medir la incidencia de lesiones del LCA en mujeres deportistas.
- Identificar y describir los componentes clave de los programas de prevención más eficaces del LCA, prestando especial atención al tipo de ejercicios incluidos, la progresión, la frecuencia, el enfoque técnico y el contexto de aplicación.
- Comparar la eficacia de los programas de ejercicio terapéutico enfocados en el control neuromuscular con aquellos centrados en el desarrollo de fuerza muscular y propiocepción, evaluando sus efectos sobre los factores de riesgo asociados a la lesión del LCA.
- Determinar qué tipo de ejercicio terapéutico es más eficaz en la reducción de factores biomecánicos de riesgo del LCA en mujeres atletas.
- Establecer cuál es la duración mínima y óptima de un programa preventivo eficaz, analizando estudios que hayan evaluado cambios significativos en la biomecánica, la activación muscular o la incidencia lesional tras diferentes periodos de intervención.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Tipo y diseño general del estudio

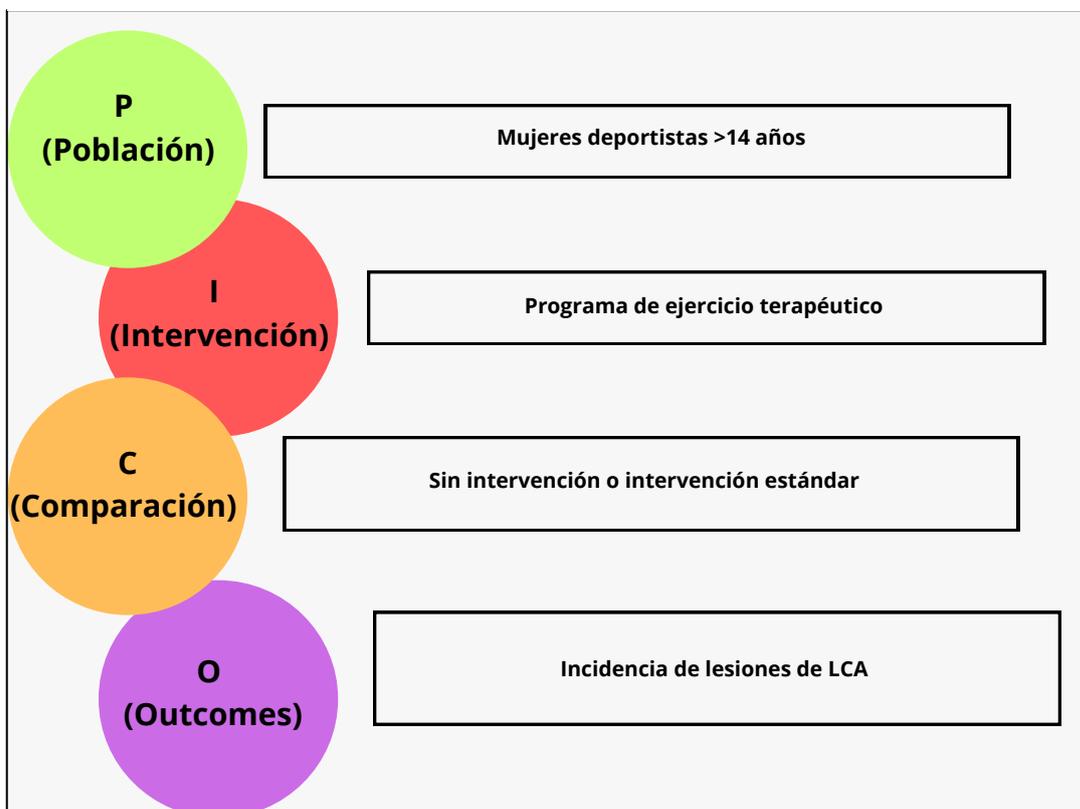
Se efectuó un análisis de la literatura científica mediante una revisión sistemática desde Octubre de 2024 hasta Febrero de 2025. Esta se ha realizado, de acuerdo con los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA, por sus siglas en inglés) (10). (Ver **Anexo 1**).

3.2 Criterio de elegibilidad

3.2.1 *Pregunta de investigación*

Con el fin de realizar una búsqueda efectiva, se definieron los elementos según la pregunta PICO y los criterios de inclusión y exclusión. La metodología PICO comprende cuatro ítems que son: la “Población”, la “Intervención”, la “Comparación” y los “Outcomes” que son las variables (Ver **Figura 2**).

Figura 2: Pregunta PICO



Fuente: Elaboración propia

Leyenda: Descripción de la pregunta PICO

En base a los parámetros planteados previamente, se formula la siguiente pregunta: Para reducir el riesgo de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) en mujeres deportistas, ¿es eficaz llevar a cabo un programa de ejercicio terapéutico basado en el entrenamiento neuromuscular y de fuerza?

3.3 Criterios de inclusión y exclusión

Con el fin de garantizar la pertinencia, la calidad metodológica y la aplicabilidad de los estudios seleccionados para esta revisión, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión. Estos permitieron acotar la búsqueda a investigaciones directamente relacionadas con los objetivos del trabajo y relevantes en el contexto de la prevención de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) en mujeres deportistas.

Criterios de inclusión :

Se incluyeron únicamente aquellos estudios que cumplieran con los siguientes requisitos:

- Participantes de sexo femenino.
- Mujeres deportistas mayores de 14 años.
- Estudios centrados en la prevención de lesiones del LCA.
- Artículos científicos originales (ensayos clínicos, estudios de protocolo).
- Publicación comprendida entre los años 2020 y 2025.
- Publicación en idioma español o inglés.

Criterios de exclusión :

Se excluyeron de esta revisión aquellos estudios que presentaban una o más de las siguientes características:

- Investigaciones centradas en el tratamiento o la rehabilitación después de una lesión de LCA.
- Estudios realizados en mujeres con otras patologías que no implicaran el LCA.
- Revisiones sistemáticas.
- Estudios que no analizaban la incidencia o el riesgo de lesión del LCA.
- Artículos sin grupo de comparación o sin enfoque preventivo claro.

3.4 Estrategia de búsqueda

Se ha realizado una búsqueda bibliográfica exhaustiva entre octubre de 2024 y febrero de 2025, utilizando los siguientes descriptores: “*Anterior Cruciate Ligament*”, “*injury prevention*”, “*therapeutic exercise*”, “*female athletes*”, combinados mediante operadores booleanos (“AND” y “OR”) en las bases de datos PubMed, Web of Science, Scopus, Medline, Dialnet y PEDro (ver tabla). Los límites establecidos para la búsqueda fueron los últimos cinco años de publicación.

Inicialmente se identificaron 60 artículos en PubMed, 235 en Web of Science, 113 en Scopus, 77 en Medline y 18 en PEDro (sin aplicar filtros). Posteriormente, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, a excepción de la evaluación de la calidad metodológica, que se llevó a cabo en una fase posterior mediante la escala PEDro.

Tras aplicar los filtros correspondientes, se seleccionaron:

- 5 artículos en PubMed (filtros: últimos 5 años, texto completo gratuito, idiomas inglés o español, estudios en humanos, población femenina, edad entre 0-18 años).
- 19 en Web of Science (filtros: acceso abierto, años 2020 a 2025, tipo de documento artículo, categoría Sport Science, lesión de LCA).
- 14 en Scopus (filtros: 2020-2024, área de ciencias de la salud, artículos en inglés, español o francés, en mujeres, en humanos).
- 12 en Medline (filtros: texto completo, fecha de publicación entre el 01/01/2020 y el 31/12/2025, población femenina).
- 7 en PEDro (teniendo en cuenta únicamente los artículos con una puntuación aceptable).

En la fase de cribado, se excluyeron los artículos que no cumplían los criterios temáticos del estudio. En PubMed, de los 5 artículos filtrados, se descartaron 3 por tratarse de estudios sobre lesiones recurrentes, uno por ser una revisión sistemática y otro por no especificar la edad de la muestra ni aportar información relevante al objetivo del estudio. Se seleccionaron finalmente 2 artículos.

En Web of Science, de los 19 artículos filtrados, se excluyeron 11 por tratarse de revisiones sistemáticas, por no tener acceso al texto completo, por incluir muestras de menores de 14 años o por no abordar específicamente la prevención de la lesión del LCA. Se incluyeron 8 artículos.

En Scopus, de los 14 artículos seleccionados inicialmente, se descartaron 6 por tratarse de revisiones sistemáticas, por falta de acceso al texto completo, por abordar de forma tangencial el tema del LCA o por centrarse en lesiones ya instauradas. Se incluyeron 8 artículos.

En Medline, de los 12 artículos filtrados, se eliminaron 7 por ser revisiones sistemáticas, por tratar la rehabilitación tras reconstrucción del LCA o por no disponer de acceso gratuito al texto completo. Se incluyeron 5 artículos.

Finalmente, en PEDro, de los 7 artículos revisados, se descartaron 3 por estar centrados en la rehabilitación postoperatoria del LCA, por incluir solo población masculina o por no tratar específicamente el LCA. Se incluyeron 4 artículos. En total, se seleccionaron 27 artículos para la evaluación final de la calidad metodológica mediante la escala PEDro (ver **Tabla 1**)

Tabla 1: Estrategia de búsqueda

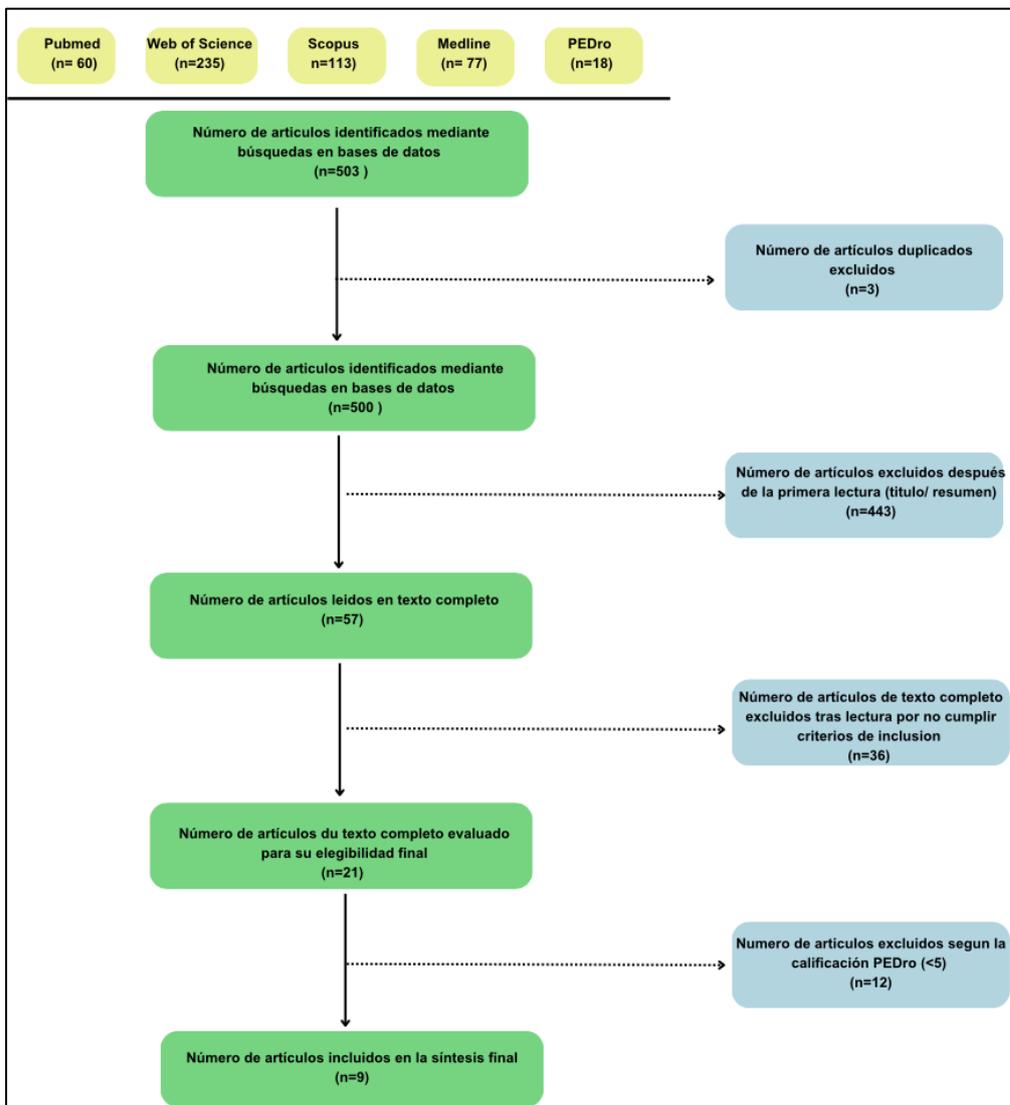
Base de datos	Ecuación de búsqueda	Resultados	Resultados con filtros
PubMed	("Anterior Cruciate Ligament" OR "ACL") AND ("injury prevention" OR "injury risk reduction" OR "prevention strategies") AND ("therapeutic exercise" OR "exercise therapy" OR "neuromuscular training" OR "strength training" OR "plyometric training" OR "balance training") AND ("female athletes" OR "women sports" OR "women athletes" OR "female soccer players" OR "female basketball players")	60	5
Web of science	("Anterior Cruciate Ligament" OR "ACL") AND (injury OR injuries OR tear OR rupture OR prevention) AND ("therapeutic exercise" OR "neuromuscular training" OR "strength training" OR "plyometric training" OR "balance training" OR "proprioceptive exercises") AND (female OR women OR "female athletes") AND (sport OR sports OR athletes OR "female soccer players" OR "female basketball players")	235	19
Scopus	(("anterior cruciate ligament" OR "ACL") AND ("injury prevention" OR "injury risk" OR "injury reduction" OR "preventive strategies") AND ("exercise therapy" OR "therapeutic exercise" OR "neuromuscular training" OR "strength training" OR "plyometric training" OR "balance training" OR "proprioceptive training") AND ("female athletes" OR "women athletes" OR "female players" OR "women sports" OR "female soccer" OR "female basketball" OR "female handball" OR "female volleyball"))	113	14
Medline	("Anterior Cruciate Ligament Injuries"[MeSH] OR "ACL injury") AND ("Exercise Therapy"[MeSH] OR "neuromuscular training" OR "strength training") AND ("Female"[MeSH] OR "women" OR "female athletes")	77	12
Dialnet	"lesión LCA" AND "ejercicio terapéutico" AND "mujeres deportistas"	0	0
PEDro	anterior cruciate ligament injury prevention exercise	18	7

Fuente: Elaboración propia

Leyenda: Descripción de la estrategia de búsqueda

3.4.1 Diagrama de flujo

Figura 3: Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica según PRISMA



Fuente: Elaboración propia basado en (10)

Legenda: Presentación del diagrama de flujo según PRISMA

3.5 Evaluación de la calidad metodológica (PEDro)

Para la realización de esta revisión sistemática, se ha evaluado la calidad metodológica de los estudios seleccionados mediante la escala PEDro (*Physiotherapy Evidence Database*), una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito de la fisioterapia basada en la evidencia. Esta escala permite valorar la validez interna y la interpretabilidad de los ensayos clínicos aleatorizados, a través de 11 ítems, de los cuales 10 son puntuables. Cada ítem se puntúa con 1 si se cumple el criterio correspondiente y con 0 si no se cumple o no queda claro en el estudio. La puntuación total varía de 0 a 10 (Ver **Anexo 2**).

Según lo establecido por la propia base de datos PEDro, la clasificación de la calidad metodológica es la siguiente: excelente (9-10 puntos), buena (6-8 puntos), regular (4-5 puntos) y pobre (0-3 puntos). En esta revisión se ha adoptado como punto de corte una puntuación mínima de 5/10 para considerar que el estudio presenta una calidad metodológica aceptable, con el fin de garantizar una adecuada validez de los resultados incluidos (11) (ver **Tabla 2**).

Tabla 2: Evaluación de la calidad metodológica (PEDro)

Autores y años de publicación	Criterios de elegibilidad de la escala PEDro (Physiotherapy Evidence Database)											
	Ítems de la escala PEDro											Puntuación total escala PEDro
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
PubMed												
Garcia AC et al. (2023)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	9/10
Bonnette S. et al (2020)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	4/10
Web Of Science												
Fernández C et al. (2022)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0/10
Ramezani F et al. (2023)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	7/10
Schmidt et al. (2022)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	4/10
Sandon et al. (2021)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	4/10
Wohl R et al. (2024)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	2/10
Johnson et al. (2024)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	4/10
Boey et al. (2024)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	5/10
Jaeggi JS et al.(2024)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	2/10
Scopus												

Darragi et al. (2024)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	6/10
Wohl TR et al. (2024)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	3/10
Shams F et al. (2021)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	6/10
Dix C et al. (2022)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	4/10
Bonnette S et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	6/10
Gilmer et al.(2019)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	2/10
Medline												
Diekfuss JA et al. (2021)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	5/10
Patterson BE et al. (2022)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Ueno R et al. (2021)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	4/10
Miho J et al. (2020)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	3/10
PEDRro												
Rostami A. et al. (2020)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	8/10
<p>1 : especificación de los criterios de elegibilidad, 2 : asignación aleatoria de los sujetos, 3 : ocultación de la asignación,</p> <p>4 : comparación de los grupos al inicio del estudio, 5 : cegamiento de los sujetos, 6 : cegamiento de los terapeutas,</p> <p>7 : cegamiento de los evaluadores, 8 : tasa de abandono inferior al 15 %, 9 :análisis por intención de tratar,</p> <p>10 :comparaciones estadísticas entre grupos, 11 : presentación de medidas puntuales y datos de variabilidad.</p> <p>El primer Items de la escala PEDro no fue tenido en cuenta, ya que está relacionado con la evaluación de la validez externa de los estudios. Por tanto, la maxima puntuacion de un articulo es de 10 puntos, pudiendo ser la minima de 0 punto.</p>												

Fuente : Elaboración propia basada en (11)

Leyenda: Tabla descriptiva de la evaluación de la calidad metodológica con PEDro

Se ha quitado el (23) y el (17) que son los mismos que el (2), y también el (18) que es el mismo que el (24). En total se han seleccionado 9 artículos para hacer nuestra revisión sistemática, porque se ha elegido los artículos que tienen una puntuación mínima de 5/10 en la escala PEDro.

3.6 Variables

Esta revisión sistemática se centra en las variables identificadas en los objetivos específicos. Se proporciona un análisis detallado de los instrumentos empleados para evaluar cada una de estas variables en los 9 artículos que forman parte de este estudio.

La incidencia lesional es una variable de resultado fundamental, ya que permite evaluar de forma directa la efectividad de los programas preventivos. Diversos estudios han demostrado que los programas de prevención, pueden reducir significativamente la incidencia de lesiones del LCA. La evaluación de la incidencia lesional antes y después de la implementación de dichos programas proporciona una medida objetiva de su eficacia y contribuye a la mejora continua de las estrategias de prevención.

Entre las variables más frecuentemente analizadas se encuentra el valgo dinámico de rodilla, definido como el colapso medial de la articulación durante tareas funcionales como el salto, el aterrizaje o el cambio de dirección. Este parámetro está estrechamente relacionado con un mayor riesgo de rotura del LCA, especialmente en las mujeres.

Otra variable biomecánica esencial es el momento de abducción de la rodilla (pKAM), que corresponde al par ejercido sobre la articulación durante el movimiento. Los valores elevados de pKAM se consideran predictivos de un estrés significativo en el LCA.

La activación muscular, en particular del tronco, la cadera (especialmente el glúteo medio) y los músculos isquiotibiales y cuádriceps, también es una variable clave. Su análisis nos ayuda a comprender los déficits neuromusculares que pueden provocar una mala alineación dinámica de la rodilla.

El LESS (Landing Error Scoring System) también ha sido utilizado como variable de análisis para cuantificar los errores técnicos en las tareas de aterrizaje. Un mayor número de errores se ha asociado a patrones de movimiento considerados de alto riesgo.

Por último, las variables relevantes son también la fuerza muscular, especialmente de la musculatura del miembro inferior, y la estabilidad funcional, tanto estática como dinámica. Estos factores son claves para el control postural y la prevención de gestos lesivos.

4. RESULTADOS

En la presente revisión sistemática se incluyeron 9 artículos científicos. Para cumplir con el propósito de este trabajo, se analizaron los programas de prevención del LCA en mujeres deportistas, presentado atención al tipo de intervención, la duración total y la frecuencia semanal de las intervenciones. A continuación, se presentan los principales resultados en los estudios analizados (ver **Tabla 3**).

Tabla 3: Resultados comparativos de nuestra revisión sistemática

Autores y año de publicación	Titulo del artículo	Objetivo y Diseño del estudio	Muestra (n Total) y Grupo control (n)	Tipo de intervención	Duración y Frecuencia	Resultados Principales
García AC et al. (2023)	<i>Therapeutic exercise protocol for the prevention of anterior cruciate ligament injuries in female soccer players with dynamic knee valgus</i>	Evaluar la eficacia de un protocolo de ejercicio terapéutico para prevenir lesiones del LCA en jugadoras de fútbol con valgo dinámico de rodilla Ensayo clínico aleatorizado (RCT)	Total (n): 36 Grupo control (n): 18	Ejercicio terapéutico (control motor, fuerza, estabilización)	12 semanas 3 sesiones/ semana	Reducción significativa de valgo dinámico y mejora del control postural (Ver Anexo 3)
Ramezani F et al. (2023)	<i>Neuromuscular training improves muscle co-activation and knee kinematics in female athletes with high risk of anterior cruciate ligament injury</i>	Analizar los efectos del entrenamiento neuromuscular sobre la coactivación muscular y la cinemática de rodilla Ensayo clínico aleatorizado (RCT)	Total (n): 28 Grupo control (n): 14	Entrenamiento neuromuscular (saltos, estabilidad, EMG)	8 semanas 3 sesiones/ semanas	Aumento de coactivación muscular y disminución del ángulo de valgo (Ver Anexo 4)

<p>Boey et al. (2024)</p>	<p><i>Is the frequency of a targeted neuromuscular training program a factor in modifying knee joint loading during typical netball landing tasks</i></p>	<p>Evaluar el impacto de la frecuencia del entrenamiento neuromuscular sobre la carga articular durante aterrizajes en netball.</p> <p>Ensayo controlado aleatorizado</p>	<p>Total (n): 17</p> <p>Grupo control (n): 9</p>	<p>Entrenamiento neuromuscular focalizado (tareas de aterrizaje)</p>	<p>6 semanas</p> <p>1 o 3 sesiones/ semanas</p>	<p>Reducción de momento de abducción y rotación interna de rodilla</p> <p>(Ver Anexo 5)</p> <p>(ver Anexo 6)</p>
<p>Darragi et al. (2024)</p>	<p><i>Effects of in-season strength training on physical fitness and injury prevention in north african elite young female soccer players</i></p>	<p>Evaluar el efecto de un programa de fuerza en temporada sobre la incidencia de lesiones y la condición física.</p> <p>Ensayo controlado aleatorizado</p>	<p>Total (n): 45</p> <p>Grupo control (n): 20</p>	<p>Programa de fuerza estacional (tren inferior + core)</p>	<p>12 semanas</p> <p>2 sesiones/ semana</p>	<p>Reducción en la incidencia de lesiones</p> <p>(Ver Anexo 7)</p>
<p>Shams F et al. (2021)</p>	<p><i>Comparison of the effect of proprioceptive taping and feedback on landing error in female athletes with dynamic knee valgus</i></p>	<p>Comparar la eficacia del taping propioceptivo y el feedback externo sobre la calidad del aterrizaje.</p> <p>Ensayo controlado aleatorizado</p>	<p>Total (n): 48</p> <p>Grupo control (n): 16</p>	<p>Ejercicios pliométricos + taping/ feedback</p>	<p>6 semanas</p> <p>3 sesiones/ semanas</p>	<p>Reducción del LESS mejora en propiocepción y activación muscular</p> <p>(Ver Anexo 8)</p>
<p>Bonnette S et al. (2019)</p>	<p><i>Real-time is more effective than sham feedback for modifying high risk biomechanic</i></p>	<p>Compara el efecto del feedback en tiempo real con feedback simulado sobre la biomecánica del squat.</p> <p>Ensayo Cruzado</p>	<p>Total (n): 20</p> <p>Grupo control (n): 10</p>	<p>Biofeedback visual vs feedback simulado</p>	<p>8 bloques</p> <p>Única sesión</p>	<p>Mejora inmediata de parámetro biomecánicos con biofeedback real</p> <p>(Ver Anexo 9)</p>

Diekfuss JA et al. (2021)	<i>Real-time biofeedback integrated into neuromuscular training reduces high-risk knee biomechanics and increases functional brain connectivity</i>	<p>Evaluar el efecto de biofeedback en tiempo real en la biomecánica y conectividad cerebral.</p> <p>Ensayo longitudinal con grupo control</p>	<p>Total (n): 30</p> <p>Grupo control: 13</p>	Biofeedback visual + entrenamiento neuromuscular	6 semanas 3 sesiones/ semanas	<p>Reducción significativa del pKAM y aumento de conectividad cerebral</p> <p>(Ver Anexo 10)</p> <p>(Ver Anexo 11)</p>
Patterson BE et al. (2022)	<i>Evaluation of an injury prevention programme (prep-to-play) in women and girls playing Australian Football</i>	<p>Evaluar el impacto de la implementación del programa Prep-to-play sobre lesiones y cumplimiento.</p> <p>Ensayo Clínico controlado aleatorizado en escalonamiento</p>	<p>Total (n): ≥ 140 equipos</p> <p>Grupo control (n): ≥70 equipos</p>	Calentamiento neuromuscular, fuerza, técnica, educación	14 semanas 2-3 sesiones/ semanas	<p>Relación entre mayor cumplimiento y menor tasa de lesiones</p> <p>(Ver Anexo 12)</p>
Rostami A et al. (2020)	<i>The effects of instruction exercises on performance and kinetic factors associated with lower-Extremity injury in landing after volleyball blocks</i>	<p>Evaluar el efecto de instrucciones con foco externo en el rendimiento y la cinética de aterrizaje</p> <p>Estudio pre-post con grupo control</p>	<p>Total (n): 32</p> <p>Grupo control (n): 16</p>	Ejercicios con foco externo (atención)	6 semanas 3 sesiones/ semana	<p>Mejora en distancia de salto, reducción de fuerza de impacto y DPSI</p> <p>(Ver Anexo 13)</p>

Fuente: Elaboración propia basada en la revisión sistemática

Leyenda: Tabla de resultados comparativos

5. DISCUSIÓN

El objetivo de esta revisión sistemática fue evaluar la eficacia de programas basados en ejercicio terapéutico sobre la incidencia de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) en mujeres deportistas, con el fin de identificar cuáles son sus componentes más relevantes y cómo contribuyen a la reducción de la incidencia lesional. Las lesiones del LCA representan un problema importante en el deporte femenino, especialmente en disciplinas que implican saltos, cambios de dirección o contactos frecuentes, como el fútbol, el voleibol o el balonmano. A partir de este propósito general, se han desarrollado cinco objetivos específicos que permiten una interpretación comparada de los resultados, mediante el análisis de una selección de estudios recientes sobre la eficacia de programas de prevención basados en el ejercicio terapéutico.

5.1 Valoración de la incidencia lesional

Uno de los aspectos clave abordados en la literatura científica es la forma en que se evalúa la incidencia de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) en mujeres deportistas. La mayoría de los estudios analizados no cuantifican la incidencia de manera directa, pero emplean métricas objetivas y validadas que permiten valorar de forma fiable el impacto de los programas preventivos (Ver **Anexo 14**).

Darragi et al. (2024) (12) presentan uno de los enfoques más rigurosos y estandarizados al utilizar como medida el número de lesiones por cada 1.000 horas de exposición. Esta metodología, aplicada en futbolistas femeninas de élite, permitió comparar un programa de entrenamiento de fuerza durante la temporada con un grupo control. Los resultados mostraron una reducción significativa en la tasa de lesiones en el grupo de intervención (0,48 frente a 2,62 por 1.000h), lo que sugiere que el fortalecimiento de la musculatura del tronco y de los miembros inferiores favorece un mejor control neuromuscular en situaciones de riesgo, como cambios de dirección o recepciones tras saltos.

Asimismo, Patterson et al. (2021) (13) utilizaron la incidencia lesional como variable secundaria en la evaluación del programa *Prep-to-Play* aplicado a jugadoras de fútbol australiano. Aunque el objetivo principal del estudio fue valorar la implementación del programa, se observaron niveles menores de lesión en las deportistas con mayor grado de adherencia, lo cual refuerza la importancia de la constancia en este tipo de intervenciones. La recogida sistemática de datos mediante observación externa y autoinformes semanales proporcionó una base sólida para establecer la relación entre cumplimiento del programa y reducción del riesgo.

Por otro lado, algunos estudios optan por evaluar factores de riesgo biomecánicos estrechamente vinculados con la probabilidad de sufrir una lesión del LCA, sin medir directamente la incidencia. En este sentido, [Shams et al. \(2021\)](#) (14) emplearon herramientas como el *Landing Error Scoring System* (LESS) para analizar la calidad del movimiento en futbolistas con valgo dinámico de rodilla. Se evidenció que una puntuación LESS más baja se asocia con menor riesgo de lesión grave, y que intervenciones que combinan ejercicios pliométricos con estímulos externos, como el *taping*, mejoran tanto la propiocepción como el tiempo de activación muscular (especialmente del vasto lateral), aspectos clave en la prevención.

Finalmente, [Bonnette et al. \(2019\)](#) (15) propusieron un programa de prevención basado en entrenamiento neuromuscular con biofeedback en tiempo real, utilizando el pico de momento de abducción de rodilla (pKAM) como marcador de riesgo. Los resultados mostraron reducciones inmediatas en este parámetro tras la intervención, lo que indica una mejora en la biomecánica sin necesidad de un proceso cognitivo prolongado. Este tipo de estrategias, basadas en el control perceptivo externo y el aprendizaje motor automático, parecen especialmente eficaces tanto en prevención como en fases de rehabilitación post-lesión.

En conjunto, el análisis comparado de los métodos evidencia que la cuantificación objetiva mediante tiempo de exposición resulta más precisa para valorar la incidencia lesional, según [Darragi et al \(2024\)](#) (12) y [Patterson et al. \(2021\)](#) (13), mientras que las métricas biomecánicas ofrecen herramientas útiles para identificar perfiles de riesgo y anticipar lesiones, según [Shams et al. \(2021\)](#) (14) y [Bonnette et al. \(2019\)](#) (15). Esta integración metodológica contribuye a una prevención más completa y personalizada del LCA en mujeres deportistas.

5.2 Características principales de los programas de prevención

En segundo lugar, nuestro segundo objetivo específico consiste en identificar y describir los componentes clave de los programas de prevención más eficaces de lesiones del LCA en mujeres deportistas, poniendo especial atención al tipo de ejercicios incluidos, la progresión, la frecuencia, el enfoque técnico y el contexto de aplicación (ver **Anexo 15**).

Los estudios analizados en esta revisión destacan una serie de elementos comunes que definen la eficacia de los programas de prevención. Uno de los aspectos recurrentes es la estructura progresiva del entrenamiento. Por ejemplo, en el estudio de [García AC et al. \(2023\)](#) (16), se implementó un programa de 36 sesiones dividido en tres fases: adaptación, control de competencias y valoración de prestaciones, con sesiones de entre 30 minutos y una hora. Los resultados mostraron que un programa completo, variado y adaptado puede reducir significativamente el riesgo de lesiones, con una baja tasa de abandono (10%).

Asimismo, [Ramezani F et al. \(2023\)](#) (17) demostraron que el entrenamiento específico sobre músculos clave (glúteos, aductores, gemelos, tibial anterior, gastrocnemio) en atletas con valgo dinámico de rodilla $>12^\circ$ resultó en una disminución significativa del ángulo de valgo y una mejora de la coactivación muscular, lo que sugiere una estabilidad dinámica más efectiva de la articulación rodilla-cadera-tobillo.

En la misma línea, [Boey et al. \(2024\)](#) (18) integraron un protocolo breve de prevención (30 min/sesión, 1–3 veces/semana) dentro del programa de fuerza y acondicionamiento durante 6 semanas. Observaron reducciones significativas en los momentos máximos de abducción y rotación interna de rodilla durante movimientos de alto riesgo como saltos unilaterales o cambios de dirección imprevistos. Curiosamente, el grupo con una sola sesión semanal mostró mejoras más consistentes, lo cual sugiere que la frecuencia óptima debe considerar también la adherencia y la fatiga inducida.

Otro componente central identificado es el uso de retroalimentación en tiempo real y el enfoque perceptivo externo. [Shams F et al. \(2021\)](#) (14) subrayan la utilidad del feedback visual y del *taping* propioceptivo combinados con ejercicios pliométricos, mostrando mejoras en el LESS y la activación del vasto lateral. Este enfoque no solo mejora la calidad del movimiento, sino también la propiocepción y el control neuromuscular.

Del mismo modo, [Bonnette S et al. \(2019\)](#) (15) y [Diekfuss JA et al. \(2021\)](#) (19) confirman que el biofeedback en tiempo real permite correcciones inmediatas en la técnica de ejercicios como el *squat*, y genera modificaciones favorables en la conectividad funcional cerebral (por ejemplo, entre tálamo y cerebelo), lo cual refuerza la idea de que los programas preventivos deben actuar a nivel biomecánico y neurocognitivo.

Además, el programa *Prep-to-Play* analizado por [Patterson BE et al. \(2021\)](#) (13) incluye una estructura multifacética con calentamientos neuromusculares, ejercicios de fuerza, técnica de contacto y educación. El estudio destaca la relación directa entre la adherencia al programa y la reducción de lesiones, señalando la necesidad de un acompañamiento continuo por parte de entrenadores. Un aspecto innovador es la incorporación de ejercicios de contacto, adaptados a las características del fútbol femenino.

Por último, el estudio de [Rostami A et al. \(2020\)](#) (20) evidencia que el enfoque atencional externo durante el entrenamiento mejora variables cinéticas como la fuerza de reacción vertical y el índice de estabilidad postural dinámica (DPSI), lo que sugiere una mejor capacidad de absorción del impacto y control del cuerpo tras los saltos. Estos resultados apoyan la inclusión de instrucciones centradas en el entorno o el objetivo, más que en la propia mecánica del cuerpo, para una prevención más eficaz.

En resumen, los programas más eficaces comparten una estructura progresiva, variada y adaptada al deporte, integran ejercicios específicos con feedback en tiempo real (visual, verbal o táctil), utilizan un enfoque atencional externo, y fomentan tanto el acompañamiento técnico como una evaluación sistemática del cumplimiento. Estos elementos contribuyen a modificar patrones neuromusculares y biomecánicos asociados con el riesgo de lesión, siendo esenciales para el diseño de intervenciones preventivas del LCA en mujeres deportistas.

5.3 Comparación entre ejercicio de control neuromuscular y trabajo de fuerza y propiocepción

Una de las comparaciones más relevantes que surge de esta revisión enfrenta los programas de ejercicio de control neuromuscular con aquellos enfocados en el desarrollo de fuerza y propiocepción. Ambos enfoques comparten el objetivo de prevenir lesiones, especialmente las del ligamento cruzado anterior (LCA), aunque sus mecanismos de acción y los resultados específicos pueden variar sustancialmente (Ver **Anexo 16**).

Por un lado, los programas terapéuticos como el propuesto por [Shams et al. \(2021\)](#) (14) se centran en corregir patrones de movimiento patológicos en atletas con valgo dinámico de rodilla. Este protocolo, que incluye *feedback* visual y verbal, así como vendaje neuromuscular (*taping*), demostró mejoras significativas en la calidad de los aterrizajes, medida a través del test *Landing Error Scoring System* (LESS), y en la precisión del sentido articular, lo que refleja una mejora en factores de riesgo biomecánicos específicos. Este enfoque terapéutico, centrado en corregir desequilibrios y patrones de movimiento erróneos, resalta la importancia del ejercicio de control neuromuscular en un contexto clínico.

En contraste, otros estudios, como el de [Patterson et al. \(2022\)](#) (13), han evaluado programas preventivos que integran ejercicios de fuerza y propiocepción. El programa *Prep-to-Play*, diseñado para prevenir lesiones en deportes como el fútbol australiano, incorpora componentes de fortalecimiento muscular, habilidades técnicas y educación, además de un calentamiento neuromuscular. Este programa, aunque no se presenta como un enfoque estrictamente terapéutico, ha demostrado ser eficaz en la reducción de las tasas de lesiones, especialmente en equipos que lo implementaron regularmente. La combinación de trabajo de fuerza funcional y propiocepción refuerza la eficacia de este tipo de programas preventivos integrados.

Asimismo, los estudios de [Rostami et al. \(2020\)](#) (20) sugieren que, tras seis semanas de ejercicios con un enfoque externo, se producen mejoras significativas en variables clave del entrenamiento propioceptivo y de fuerza, como la estabilidad postural dinámica, la carga de

impacto y la fuerza de reacción del suelo. Estos ejercicios, aunque no sean estrictamente terapéuticos, provocan adaptaciones funcionales que son similares a las que se buscan en programas de rehabilitación y prevención secundaria, lo que pone de manifiesto la efectividad de los programas de ejercicio que combinan elementos de fuerza y propiocepción.

Por su parte, el estudio de [Diekfuss et al. \(2021\)](#) (19) proporciona evidencia preliminar sobre el impacto de un entrenamiento neuromuscular aumentado (aNMT) mediante biorretroalimentación visual interactiva en tiempo real. Los resultados indican que este enfoque es capaz de reducir significativamente los factores de riesgo biomecánicos, como el momento máximo de abducción de rodilla (pKAM), además de mejorar la conectividad cerebral funcional. Aunque no se considera ejercicio terapéutico en el sentido clásico, los resultados obtenidos muestran un impacto correctivo sobre patrones de movimiento de riesgo, alineándose con los objetivos de los programas terapéuticos.

Comparando estos enfoques, se observa que tanto los ejercicios centrados en la fuerza como los centrados en el control neuromuscular pueden ser efectivos en la prevención de lesiones del LCA, aunque con diferencias en su duración e impacto. Los programas de fuerza y propiocepción, como el *Prep-to-Play*, parecen ofrecer beneficios a largo plazo al integrar componentes educativos y técnicas específicas del deporte. Por otro lado, los protocolos más terapéuticos, como los propuestos por [Shams et al. \(2021\)](#) (14) y [Diekfuss et al. \(2021\)](#) (19), se centran en la corrección de patrones de movimiento específicos, mostrando mejoras más inmediatas en la biomecánica del atleta.

En términos de efectividad, los estudios que emplean enfoques neuromusculares con retroalimentación en tiempo real, como los de [Diekfuss et al. \(2021\)](#) (19), podrían tener una ventaja en la corrección precisa de patrones de movimiento, mientras que los programas preventivos más integrados, como el de [Patterson et al. \(2022\)](#) (13), ofrecen un enfoque más general y duradero en la reducción de lesiones.

La comparación entre estos programas sugiere que, aunque los enfoques terapéuticos (de control neuromuscular) y preventivos pueden complementarse, los programas que integran fuerza, propiocepción y educación parecen ser más efectivos en la prevención de lesiones del LCA a largo plazo. Sin embargo, los protocolos terapéuticos, centrados en la corrección de movimientos erróneos, podrían ser más efectivos a corto plazo en la mejora de la biomecánica y la reducción inmediata de los riesgos de lesiones.

5.4 Modalidades de ejercicio con mayor eficacia preventiva

Respecto al tipo de ejercicio que ofrece mayores beneficios en la reducción de factores de riesgo biomecánicos asociados a la lesión del LCA, los estudios revisados coinciden en que no existe un único enfoque óptimo. Sin embargo, se observa que las intervenciones más eficaces comparten una característica común: la combinación de múltiples componentes del entrenamiento funcional, neuromuscular y propioceptivo, junto con estrategias de aprendizaje motor (Ver **Anexo 17**).

Los ejercicios centrados en el control neuromuscular, como los aplicados por [García et al. \(2023\)](#) (16), muestran resultados positivos en la corrección de patrones motores lesivos. Este protocolo, que incluye ejercicios de estabilización lumbo-pélvica, fortalecimiento del tren inferior y trabajo pliométrico y de balance, logró reducir el valgo dinámico de rodilla y mejorar el control postural tras doce semanas de intervención. Estos hallazgos subrayan la capacidad del ejercicio terapéutico para incidir directamente sobre factores de riesgo biomecánicos.

En una línea similar, [Ramezani et al. \(2023\)](#) (17) aplicaron un programa de ejercicios neuromusculares orientado a optimizar la coactivación muscular y la cinemática de la rodilla, con énfasis en tareas de salto con contramovimiento unipodal. Mediante análisis electromiográfico (EMG), se evidenció una mejora en la coactivación de grupos musculares clave (por ejemplo, glúteo mayor y tensor de la fascia lata), así como una reducción del ángulo de abducción de rodilla. Esto sugiere que los programas diseñados específicamente para mejorar la coordinación neuromuscular pueden modificar patrones de riesgo de forma eficaz.

En cuanto a la influencia de la frecuencia de entrenamiento, [Boey et al. \(2024\)](#) (18) analizaron el efecto de un protocolo neuromuscular centrado en tareas específicas de salto y cambio de dirección. Si bien ambos grupos de intervención mostraron mejoras, fue el grupo con menor frecuencia semanal (una sesión) el que obtuvo resultados más consistentes en la reducción de los momentos de rotación interna y abducción de rodilla. Este hallazgo plantea la necesidad de considerar la dosificación adecuada del entrenamiento en función de la adherencia y la fatiga.

El enfoque basado en retroalimentación en tiempo real, como el propuesto por [Diekfuss et al. \(2021\)](#) (19), representa una de las estrategias más innovadoras. Mediante *biofeedback* visual interactivo, este entrenamiento neuromuscular aumentado (aNMT) redujo significativamente el momento máximo de abducción de rodilla (pKAM) y aumentó la conectividad funcional entre regiones cerebrales asociadas al control motor. Esta combinación de adaptación física y neurológica sitúa a los programas con retroalimentación como intervenciones altamente prometedoras.

Desde una perspectiva multifactorial, el programa *Prep-to-Play*, evaluado por [Patterson et al. \(2022\)](#) (13), destaca por integrar calentamiento neuromuscular, fuerza, habilidades técnicas y educación. Aunque su objetivo principal era la implementación del programa, también se reportaron reducciones en las tasas de lesiones en los equipos con mayor adherencia. Este enfoque estructurado y variado parece crucial para alcanzar resultados sostenibles en la prevención de lesiones.

Finalmente, el estudio de [Rostami et al. \(2020\)](#) (20) aporta evidencia sobre la eficacia de incorporar instrucciones con foco externo. Tras seis semanas de entrenamiento, se observaron mejoras funcionales significativas, como mayor distancia en el triple salto unipodal y reducción de la carga de impacto durante el aterrizaje. Este tipo de instrucción, que estimula un aprendizaje motor más automatizado y eficiente, se revela como una herramienta simple pero eficaz para la prevención del LCA.

En conjunto, los estudios analizados sugieren que los programas más efectivos son aquellos que combinan distintos tipos de ejercicio terapéutico, neuromuscular, funcional, pliométrico junto con estrategias de retroalimentación y aprendizaje motor. Esta integración permite atacar múltiples factores de riesgo de forma sinérgica, mejorando tanto la biomecánica como el control neuromuscular, y ofreciendo beneficios sostenibles en la prevención de lesiones del LCA en mujeres atletas.

5.5 Duración óptima del programa preventivo

En cuanto a la duración mínima y óptima de un programa preventivo eficaz para reducir el riesgo de lesión del LCA, los estudios revisados reflejan una cierta variabilidad en los protocolos, pero convergen en la necesidad de una intervención sostenida en el tiempo para inducir adaptaciones neuromusculares y biomecánicas duraderas (Ver **Anexo 18**).

El estudio de [García AC et al. \(2023\)](#) (16) implementó un protocolo de 12 semanas, con sesiones distribuidas tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes), dirigido a mujeres futbolistas con valgo dinámico de rodilla. Este programa mostró mejoras sostenidas en el control postural, la biomecánica articular y una reducción significativa del valgo dinámico, con evaluaciones a las semanas 0,6 y 12. Este protocolo evidencia que tres meses de intervención con frecuencia semanal constante son suficientes para lograr cambios clínicamente relevantes y sostenibles en el tiempo.

Por otro lado, [Boey et al. \(2024\)](#) (18) realizaron una intervención de 6 semanas, comparando un grupo con una sesión semanal frente a otro con tres sesiones por semana.

Ambos grupos mostraron reducciones en los momentos de rotación interna y abducción de rodilla durante tareas funcionales como el aterrizaje unipodal y el corte lateral inesperado, aunque los resultados fueron más consistentes en el grupo con menor frecuencia (1 sesión/semana), posiblemente debido a un mayor cumplimiento. Esto sugiere que incluso con frecuencias más bajas, es posible inducir mejoras biomecánicas si la intervención es específica y bien integrada en el entrenamiento habitual.

El ensayo de [Ramezani F et al. \(2023\)](#) (17) también aplicó una duración de 8 semanas, observando una mejora en la coactivación muscular y una disminución del ángulo de abducción de la rodilla. Estos resultados indican que las adaptaciones neuromusculares pueden comenzar a consolidarse a partir de las 6 a 8 semanas, especialmente en protocolos que incluyen tareas funcionales específicas como el salto unipodal con contramovimiento.

En contraste, el estudio de [Bonnette S et al. \(2019\)](#) (15) utilizó una intervención breve, basada en 110 sentadillas distribuidas en ocho bloques de entrenamiento mediante biofeedback visual. A pesar de su corta duración, se observaron mejoras inmediatas en parámetros biomecánicos clave. Sin embargo, estas mejoras probablemente no se sostendrían sin una continuidad posterior del entrenamiento, dado que no se aborda la consolidación a largo plazo de los patrones motores.

Por su parte, [Patterson BE et al. \(2022\)](#) (13) evaluó el impacto del programa *Prep-to-Play* a lo largo de dos temporadas deportivas (14 semanas cada una). Aunque el enfoque principal fue la implementación y la adherencia al programa, los datos indicaron una reducción en la incidencia de lesiones en equipos con alta fidelidad al protocolo. Esto refuerza la idea de que una implementación prolongada y sostenida durante toda la temporada es clave para mantener los efectos preventivos del programa.

En conjunto, los hallazgos permiten establecer que una duración mínima de 6 semanas puede inducir mejoras iniciales en la biomecánica y activación muscular, pero que entre 8 y 12 semanas, con una frecuencia de 2 a 3 sesiones semanales, constituyen un marco óptimo para consolidar estas adaptaciones. Además, la continuidad del programa más allá del periodo inicial, ya sea a través de su integración en la rutina de entrenamiento o mediante programas educativos como *Prep-to-Play*, es esencial para mantener los beneficios a mediano y largo plazo.

Recomendación final: Se recomienda implementar programas de prevención multicomponente en los entrenamientos habituales de mujeres deportistas, adaptándolos al perfil de riesgo y nivel competitivo, y asegurando su seguimiento por parte de profesionales formados para maximizar su adherencia y eficacia.

6. LIMITACIONES

Tras realizar este trabajo de investigación, se presentan las limitaciones más destacadas de esta revisión sistemática:

Entre las principales limitaciones de esta revisión sistemática se encuentran el tamaño reducido de las muestras analizadas, la escasa representación de estudios con seguimiento a largo plazo y la heterogeneidad metodológica entre los ensayos incluidos. En cuanto a los estudios revisados, algunos presentaron una muestra pequeña de atletas, lo que limita la generalización de los resultados. Por ejemplo, en el estudio de [Darragi et al \(2024\)](#), la muestra incluía solo atletas menores de 15 años, lo que restringe la aplicabilidad de los hallazgos a poblaciones mayores de 14 años.

Finalmente, la mayoría de los estudios se centraron en intervenciones con seguimiento a corto plazo, lo que limita la capacidad de evaluar los efectos sostenibles de las estrategias preventivas a largo plazo. Además, en algunas ocasiones resulta más difícil obtener todos los detalles necesarios y concretos para extraer conclusiones claras, y no todos los estudios analizan directamente la incidencia lesional, lo que añade complejidad a la interpretación de los resultados.

7. CONCLUSIONES

Tras analizar en profundidad los estudios seleccionados y evaluar las variables identificadas en los objetivos específicos, se ha obtenido una visión integral de los factores que inciden en la incidencia lesional y los riesgos asociados al ligamento cruzado anterior (LCA). Este análisis ha permitido identificar patrones comunes en la literatura existente, así como reconocer las limitaciones metodológicas presentes en los estudios revisados. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de este trabajo:

Primera conclusión: Existen diferentes formas de valorar la incidencia de lesiones del LCA en mujeres deportistas, siendo más recomendable el uso de métricas estandarizadas por exposición, así como de variables biomecánicas validadas, que permiten identificar perfiles de riesgo incluso en ausencia de lesión manifiesta.

Segunda conclusión: Los programas de prevención más eficaces comparten una estructura progresiva, combinan ejercicios de fuerza, control neuromuscular, propiocepción y retroalimentación externa, y se adaptan al contexto deportivo de las atletas.

Tercera conclusión: Los programas que incorporan trabajo neuromuscular específico resultan especialmente eficaces para corregir patrones de movimiento que predisponen a lesiones. Por su parte, el entrenamiento de fuerza y funcional muestra una mayor aplicabilidad en contextos deportivos. La combinación de ambos enfoques podría potenciar los beneficios en términos de prevención de lesiones y mejora del rendimiento.

Cuarta conclusión: No hay un único tipo de modalidad superior; la mayor eficacia se observa en programas que integran múltiples enfoques, permitiendo actuar sobre diversos factores de riesgo biomecánico.

Quinta conclusión: La duración mínima recomendada de un programa preventivo eficaz es de seis semanas, aunque una duración de entre ocho y doce semanas, con frecuencia constante, parece más efectiva para consolidar adaptaciones neuromusculares duraderas.

Es necesario llevar a cabo estudios con una metodología más completa, que incluyan muestras más amplias y representativas, así como un seguimiento a largo plazo. Esto permitiría evaluar de manera más precisa la efectividad de las intervenciones preventivas y su impacto sostenido en la reducción de lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA).

8. AGRADECIMIENTOS

Ilona :

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi compañera de trabajo, Axelle TACH, por su escucha, su apoyo incondicional a lo largo de este trabajo, así como por su valiosa amistad durante estos cuatro años de estudios.

También quiero agradecer a nuestra tutora, Diana Gallego De Marcos, por su acompañamiento, sus consejos y su guía durante todo el proceso, así como por habernos permitido trabajar sobre un tema que nos apasiona.

Deseo igualmente mostrar mi agradecimiento a todos los profesores de la Universidad Europea de Valencia , cuyo compromiso, conocimientos y dedicación han contribuido de manera significativa a mi formación académica.

Por último, quiero dar las gracias de corazón a mis amigos y a mi familia, cuyo apoyo y confianza me han dado la fuerza y la motivación necesarias para llevar a cabo este trabajo que tanto significa para mí.

Axelle :

En primer lugar, expreso mi sincera gratitud a mi tutora, Diana Gallego De Marcos, por su acompañamiento constante, su paciencia y sus valiosas orientaciones, que han sido esenciales para la realización de este trabajo.

Agradezco de manera muy especial a mi compañera de TFG y mejor amiga, Ilona Maricot. Gracias por tu implicación, tu espíritu de equipo y tu dedicación a lo largo de todo el proyecto. Pero, sobre todo, gracias por haber estado a mi lado durante estos cuatro años, no solo en los estudios, sino también en mi vida personal. Tu amistad y apoyo incondicional han significado muchísimo para mí.

También quiero dar las gracias a mis amigos, por estar siempre presentes con palabras de ánimo y por brindarme momentos de desconexión necesarios a lo largo del curso.

A mi familia, gracias por su amor incondicional, su confianza y su respaldo permanente. Su apoyo emocional y moral ha sido el pilar más importante durante toda mi etapa universitaria.

Finalmente, agradezco a la escuela por ofrecerme un entorno de aprendizaje enriquecedor y por contribuir a mi formación como futura profesional.

9. REFERENCIAS

1. Ayala-Mejías JD, García-Estrada GA, Alcocer P-EL. Lesiones del ligamento cruzado anterior. Org.mx.

Available from: <https://www.scielo.org.mx/pdf/aom/v28n1/v28n1a12.pdf>

2. Lluna Llorens ÁD, Sabater BS, Morte IM, García E, López S, Guillén J. Rotura del ligamento cruzado anterior en la mujer deportista: factores de riesgo y programas de prevención. 2017;34:288–92.

Available from: https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/rev1_lluna.pdf

3. Calvo-Fernández Y, Lago-Rodríguez Á. Programa preventivo de lesión de ligamento cruzado anterior en fútbol femenino durante períodos de confinamiento. MHSalud Rev En Cienc Mov Hum Salud. 26 de junio de 2022;19(2):1-21 Unirioja.es.

Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8492286>.

4. Alejandro Orizola M, Álvaro Zamorano C. Reconstrucción de ligamento cruzado anterior de rodilla en mujeres deportistas. Rev médica Clín Las Condes. 2012;23(3):319–25.

Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s0716-8640\(12\)70316-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0716-8640(12)70316-4).

5. Dialnet-AnatomiaYDanza-2879805.

Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2879805>

6. Crespo Villalba FJ. Lesiones del cartílago articular de la rodilla mediante resonancia magnética: ventajas del uso de secuencias ponderadas en densidad protónica en 3.0 Teslas. Imagen Diagn. 2011;2(2):53–8.

Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s2171-3669\(11\)70031-2](http://dx.doi.org/10.1016/s2171-3669(11)70031-2).

7. De la legislación sobre prevención de lesiones no intencionales A. Lesiones en España.Gob.es.

Available from: https://www.sanidad.gob.es/areas/promocionPrevencion/lesiones/seguridadVial/legislacion/docs/LESIONES_Espana.pdf

8. Saldivia Paredes M. Descripción morfológica y biomecánica de la articulación de la rodilla del canino (Canis lupus familiaris). CES Med Vet Zootec. 2018;13(3):294–307.

Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/cmvez/v13n3/1900-9607-cmvz-13-03-294.pdf>

9. La Touche R, Paris Alemany A. (5)Sobre el Concepto de Ejercicio Terapéutico. La identidad profesional y la organización de la Fisioterapia. J MOVE Ther Sci. 9 de agosto de 2023;5(1):504-15.

Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9141071>.

10. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol [Internet]*. 2021;74(9):790–9.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>.

11. PEDro_scale_spanish.

Available from: https://pedro.org.au/wp-content/uploads/PEDro_scale_spanish.pdf

12. Darragi M, Zouhal H, Bouselmi M, Karamti HM, Clark CCT, Laher I, et al. Effects of in-season strength training on physical fitness and injury prevention in north African elite young female soccer players. *Sports Med Open*. 2024;10(1):94.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s40798-024-00762-0>.

13. Patterson BE, Donaldson A, Cowan SM, King MG, Barton CG, McPhail SM, et al. Evaluation of an injury prevention programme (Prep-to-Play) in women and girls playing Australian Football: design of a pragmatic, type III, hybrid implementation-effectiveness, stepped-wedge, cluster randomised controlled trial. *BMJ Open*. 2022;12(9):e062483.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2022-062483>.

14. Shams F, Hadadnezhad M, Letafatkar A, Hogg J. Valgus control feedback and taping improves the effects of plyometric exercises in women with dynamic knee Valgus. *Sports Health*. 2022;14(5):747–57.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/19417381211049805>.

15. Bonnette S, DiCesare CA, Kiefer AW, Riley MA, Barber Foss KD, Thomas S, et al. Injury risk factors integrated into self-guided real-time biofeedback improves high-risk biomechanics. *J Sport Rehabil*. 2019;28(8):831–9.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1123/jsr.2017-0391>.

16. García AC, Pagán EJP. Therapeutic exercise protocol for the prevention of anterior cruciate ligament injuries in female soccer players with dynamic knee valgus (RCT). *Trials*. 2025;26(1):29. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13063-025-08736-7>.

17. Ramezani F, Saki F, Tahayori B. Neuromuscular training improves muscle co-activation and knee kinematics in female athletes with high risk of anterior cruciate ligament injury. *Eur J Sport Sci*. enero de 2024;24(1):56-65.

Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11235733/>

18. Boey D, Joseph R, Lee M. Is the frequency of a targeted neuromuscular training program a factor in modifying knee joint loading during typical netball landing tasks? *Sports Health*. 2024;19417381241283819.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/19417381241283819>.

19. Diekfuss JA, Grooms DR, Bonnette S, DiCesare CA, Thomas S, MacPherson RP, et al. Real-time biofeedback integrated into neuromuscular training reduces high-risk knee biomechanics and increases functional brain connectivity: A preliminary longitudinal investigation. *Psychophysiology*. 2020;57(5):e13545.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.13545>.

20. Rostami A, Letafatkar A, Gokeler A, Khaleghi Tazji M. The effects of instruction exercises on performance and kinetic factors associated with lower-extremity injury in landing after volleyball blocks. *J Sport Rehabil*. 2020;29(1):51–64.

Available from: <http://dx.doi.org/10.1123/jsr.2018-0163>.

10. ANEXOS

Anexo 1: Lista de verificación PRISMA

Sección tema	Ítem nº	Ítem de la lista de verificación	Incluido
TÍTULO			
Título	1	Identifique el informe o publicación como una revisión sistemática.	✓
ANTECEDENTES			
Objetivos	2	Proporcione una declaración explícita de los principales objetivos o preguntas que aborda la revisión	✓
MÉTODO			
Criterios de elegibilidad	3	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión	✓
Fuentes de información	4	Especifique las fuentes de información (por ejemplo, bases de datos, registros) utilizadas para identificar los estudios y la fecha de la última búsqueda en cada una de las fuentes.	✓
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	5	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos.	✓
Síntesis de los resultados	6	Especifique los métodos utilizados para presentar y sintetizar los resultados	✓
RESULTADOS			
Estudios incluidos	7	Proporcione el número total de estudios incluidos y de participantes y resuma las características relevantes de los estudios.	✓
Síntesis de los resultados	8	Presente los resultados de los desenlaces principales e indique, preferiblemente, el número de estudios incluidos y los participantes en caso uno de ellos. Si se ha realizado un metaanálisis, indique el estimador de resumen y el intervalo de confianza o de credibilidad. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto (por ejemplo, qué grupo se ha visto favorecido).	✓
DISCUSIÓN			
Limitaciones de la evidencia	9	Proporcione un breve resumen de las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión (por ejemplo, el riesgo, inconsistencia-heterogeneidad- e imprecisión.	✓
Interpretación	10	Proporcione una interpretación general de los resultados y sus implicaciones importantes.	✓
OTROS			
Financiación	11	Especifique la fuente principal de financiación de la revisión	✓
Registro	12	Proporcione el nombre y el número de registro.	✓

Anexo 2: Escala PEDro

Escala PEDro-Español

- Los criterios de elección fueron especificados no si donde:
- Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos) no si donde:
- La asignación fue oculta no si donde:
- Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes no si donde:
- Todos los sujetos fueron cegados no si donde:
- Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados no si donde:
- Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados no si donde:
- Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos no si donde:
- Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar" no si donde:
- Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave no si donde:
- El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave no si donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

Escala PEDro-Español

- Los criterios de elección fueron especificados no si donde:
- Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos) no si donde:
- La asignación fue oculta no si donde:
- Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes no si donde:
- Todos los sujetos fueron cegados no si donde:
- Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados no si donde:
- Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados no si donde:
- Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos no si donde:
- Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar" no si donde:
- Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave no si donde:
- El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave no si donde:

La escala PEDro está basada en la lista Delphi desarrollada por Verhagen y colaboradores en el Departamento de Epidemiología, Universidad de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology*, 51(12):1235-41). En su mayor parte, la lista está basada en el consenso de expertos y no en datos empíricos. Dos ítems que no formaban parte de la lista Delphi han sido incluidos en la escala PEDro (ítems 8 y 10). Conforme se obtengan más datos empíricos, será posible "ponderar" los ítems de la escala, de modo que la puntuación en la escala PEDro refleje la importancia de cada ítem individual en la escala.

El propósito de la escala PEDro es ayudar a los usuarios de la bases de datos PEDro a identificar con rapidez cuales de los ensayos clínicos aleatorios (ej. RCTs o CCTs) pueden tener suficiente validez interna (criterios 2-9) y suficiente información estadística para hacer que sus resultados sean interpretables (criterios 10-11). Un criterio adicional (criterio 1) que se relaciona con la validez externa ("generalizabilidad" o "aplicabilidad" del ensayo) ha sido retenido de forma que la lista Delphi esté completa, pero este criterio no se utilizará para el cálculo de la puntuación de la escala PEDro reportada en el sitio web de PEDro.

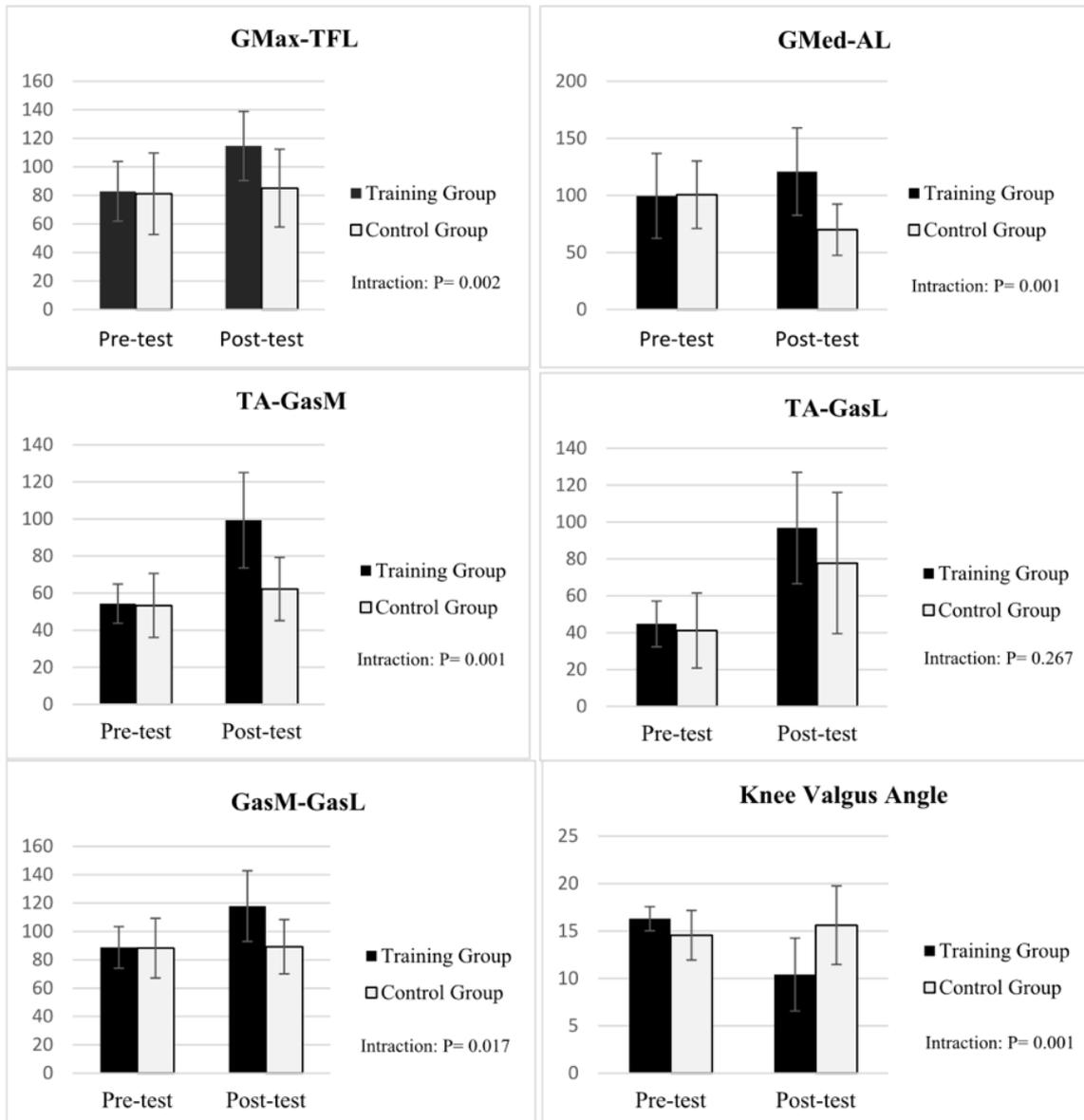
La escala PEDro no debería utilizarse como una medida de la "validez" de las conclusiones de un estudio. En especial, avisamos a los usuarios de la escala PEDro que los estudios que muestran efectos de tratamiento significativos y que puntúan alto en la escala PEDro, no necesariamente proporcionan evidencia de que el tratamiento es clínicamente útil. Otras consideraciones adicionales deben hacerse para decidir si el efecto del tratamiento fue lo suficientemente elevado como para ser considerado clínicamente relevante, si sus efectos positivos superan a los negativos y si el tratamiento es costo-efectivo. La escala no debería utilizarse para comparar la "calidad" de ensayos realizados en las diferentes áreas de la terapia, básicamente porque no es posible cumplir con todos los ítems de la escala en algunas áreas de la práctica de la fisioterapia.

Última modificación el 21 de junio de 1999. Traducción al español el 30 de diciembre de 2012

Anexo 3: Sample Size Calculation and Expected Outcomes

Category	Parameter / Outcome	Value / Description
Sample Size Calculation	Software Used	Epidat 4.2
	Analysis Type	Comparison of independent means
	Effect Size (Standardized Mean Difference)	1.0
	Significance Level (α)	0.05
	Confidence Interval (CI)	95%
	Statistical Power	90%
	Calculated Sample Size	44 participants (22 per group)
	Attrition Rate Considered	10%
	Final Sample Size	48 participants (24 per group)
	Target Population	Female athletes
Expected Outcomes – Intervention Group	Primary Outcome	Reduced incidence of ACL injuries (recorded 6 months post-intervention)
	Risk Factor Changes	Reduction of Dynamic Knee Valgus (DKV)
	Functional Improvements	Improved proprioception, balance, and motor control of the lower limbs and lumbo-pelvic complex
	Athletic Performance	Enhanced sports performance and ball control
	Neuromuscular Analysis	DVJ jump-landing test with LESS scoring system
	Muscle Activation Data	EMG recording of gluteus maximus and medius activity (pre- and post-intervention)
	Biomechanical Evaluation	Motion capture, surface EMG markers, and force platform
	Satisfaction Rate	Measured with SF-12 questionnaire (pre- and post-intervention)
	Injury Monitoring	Injury frequency recorded in Excel table; training frequency tracked weekly

Anexo 4: Effect of intervention on co-activation and knee valgus angle index



Anexo 5: Unadjusted and covariate adjusted descriptive statistics, and paired t test, for pre-post-intervention peak knee moments (Nm/kg/m)

Intervention (n: once, 9; thrice, 8)	Pre-intervention		Post-intervention (unadjusted)		Paired t Test (2-tailed)		Post-intervention (adjusted)	
	Mean	SE	Mean	SE	t	P value	Mean	SE
	SJL (Dom., abduction)							
Once	1.22	0.13	1.00	0.14	1.57	0.16	0.95	0.11
Thrice	1.02	0.11	1.13	0.11	-1.14	0.29	1.18	0.12
SJL (Non-dom., abduction)								
Once	1.22	0.15	0.75	0.09	3.36	<0.01*	0.67	0.10
Thrice	0.89	0.19	0.86	0.18	0.23	0.83	0.95	0.11
SJL (Dom., internal rotation)								
Once	0.25	0.04	0.16	0.02	3.14	<0.01*	0.16	0.02
Thrice	0.23	0.03	0.19	0.03	1.35	0.22	0.20	0.02
SJL (Non-dom., internal rotation)								
Once	0.20	0.02	0.17	0.02	1.39	0.20	0.17	0.02
Thrice	0.22	0.03	0.20	0.03	1.16	0.29	0.19	0.02
USC (Dom., abduction)								
Once	0.69	0.12	0.71	0.14	-0.14	0.89	0.70	0.13
Thrice	0.65	0.11	0.73	0.14	-0.52	0.62	0.74	0.14
USC (Dom., internal rotation)								
Once	0.14	0.02	0.12	0.01	1.10	0.30	0.12	0.10
Thrice	0.16	0.02	0.15	0.01	0.10	0.93	0.16	0.10

Dom., dominant; Non-dom., non-dominant; SJL, single-leg jump-landing; USC, unplanned sidestep cutting.
* $P < 0.05$.

Anexo 6: Analysis of covariance : training group (once vs thrice-weekly) effect on knee moments (controlled for pre-intervention knee moments)

Source	SS	df	MS	F	P	η^2	R^2
SJL (Dom., abduction)							0.26
Pre_Dom._PKA_SJL	0.47	1	0.47	4.32	0.06	0.24	
Intervention group	0.20	1	0.20	1.89	0.19	0.12	
Error	1.51	14	0.11				
SJL (Non-dom., abduction)							0.45
Pre_Non-dom._PKA_SJL	1.00	1	1.00	11.05	0.01	0.44	
Intervention group	0.31	1	0.31	3.39	0.09	0.20	
Error	1.27	14	0.09				
SJL (Dom., internal rotation)							0.38
Pre_Dom._PKIR_SJL	0.03	1	0.03	7.59	0.02	0.35	
Intervention group	0.01	1	0.01	1.33	0.27	0.09	
Error	0.06	14	<0.01				
SJL (Non-dom., internal rotation)							0.27
Pre_Non-Dom._PKIR_SJL	0.02	1	0.02	4.41	0.05	0.24	
Intervention group	0.00	1	<0.01	0.32	0.58	0.02	
Error	0.06	14	0.01				
USC (Dom., abduction)							0.17
Pre_Dom._PKA_USC	0.44	1	0.44	2.94	0.11	0.17	
Intervention group	0.01	1	0.01	0.04	0.85	0.00	
Error	2.10	14	0.15				
USC (Dom., internal rotation)							0.31
Pre_Dom._PKIR_USC	0.00	1	<0.01	0.42	0.53	0.03	
Intervention group	0.01	1	0.01	5.23	0.04*	0.27	
Error	0.01	14	<0.01				

η^2 , partial Eta squared; Dom., dominant; MS, mean squares; Non-dom., non-dominant; PKA, peak knee abduction; PKIR, peak knee internal rotation; SJL, single-leg jump-landing; SS, sum of squares; USC, unplanned sidestep cutting.
* $P < 0.05$.

Anexo 7: Non- contact injury data recorded during the different periods of the season

	Preseason period		Competitive period		Entire season	
	CG	STG	CG	STG	CG	STG
<i>Injuries location</i>						
Upper body	0 (0%)	0 (0%)	1 (9%)	0 (0%)	1 (9%)	0 (0%)
Lower body	0 (0%)	0 (0%)	10 (91%)	2 (100%)	10 (91%)	2 (100%)
Total injuries	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)	2 (100%)	11 (100%)	2 (100%)
<i>Injuries severity and number of absence days</i>						
<i>Minimal (1–3 days)</i>						
Number of injuries					7 (64%)	0 (0%)
Days lost					17	0
<i>Mild (4-7 days)</i>						
Number of injuries					2 (18%)	2 (100%)
Days lost					11	14
<i>Moderate (8–28 days)</i>						
Number of injuries					2 (18%)	0 (0%)
Days lost					42	0
<i>Severe (> 28 days)</i>						
Number of injuries					0 (0%)	0 (0%)
Days lost					0	0
<i>Total days lost</i>					70	14
<i>Exposure time(a)</i>						
					4191	4191
Burden (b)					16.70	3.34
<i>Incidence injury rate</i>						
Number of injuries (c)	0	0	11	2	11	2
Exposure time training	630	630	3150	3150	3780	3780
Exposure time match	59	59	352	352	411	411
Exposure time total	689	689	3502	3502	4191	4191
IIR (d) Injury Rate	0.00	0.00	3.14	0.57	2.62	0.48
IRR (e)	0		0.18		0.18	

STG, strength training group; CG, control group; (a) Exposure time calculated using the number of female players per training session (around 14). Number of training sessions (around 180 for the examined period, including 30 training sessions during preseason period) and number of played matches (28 matches for the studied period, including 4 matches during preseason period); (b) burden = $1000 \times (\sum \text{days absent} / \sum \text{exposure hours})$ [32] (c) Number of injuries was recorded during training and matches. (d) IIR (Incidence injury rate) was calculated. $IIR = 1000 \times (\sum \text{injuries} / \sum \text{exposure hours})$ [32]. Season IIR (Incidence injury rate) including preseason and competition periods. (e) IRR, Injury rate ratio = injury incidence of STG divided by the injury incidence of CG

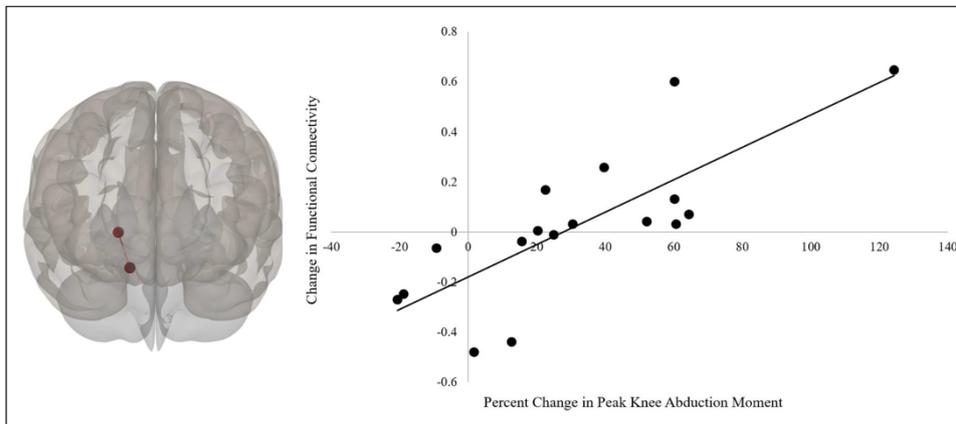
Anexo 8: Effects of the intervention on muscle activation, proprioception, and movement quality : Group x Time intraction analysis

Variable	Group-time interaction	Statistics(F, P, η^2p)	FB (for vs post)	TP (for vs post)	Control (pre vs post)	Remarks
VM (Vasto Medial) Startup	Yes	F = 91.48, P = 0.001, h^2p = 0.806	d = 0.47, P = 0.001	d = 0.56, P = 0.001	d = -0.10, P = 0.12	Earlier activation in FB and TP
Onset of the VL (Vastus Lateralis)	Yes	F = 57.94, P = 0.001, h^2p = 0.725	d = -0.01, P = 0.90	d = -0.67, P = 0.001	d = 0.05, P = 0.37	Activation closer to ground contact in TP
Start of the GM (MiddleGluteus)	Yes	F = 68.04, P = 0.001, h^2p = 0.756	d = 0.29, P = 0.001	d = 0.57, P = 0.001	d = 0.01, P = 0.72	Earlier activation in FB and TP
Onset of TS (Semitendinosus)	Yes	F = 74.09, P = 0.001, h^2p = 0.771	d = 0.35, P = 0.001	d = 0.59, P = 0.001	d = -0.06, P = 0.39	Earlier activation in FB and TP
Onset of BF (Biceps Femoris)	Yes	F = 11.74, P = 0.001, h^2p = 0.348	d = 0.29, P = 0.001	d = 0.21, P = 0.001	d = 0.04, P = 0.56	Earlier activation in FB and TP
Joint Position Sense (JPS)	Yes	F = 4.83, P = 0.013, h^2p = 0.180	d = -0.11, P = 0.55	d = -0.63, P = 0.001	d = -0.05, P = 0.61	Significant improvement in TP alone; Lowest error (d = 0.45, P = 0.011)
LESS Score	Yes	F = 140.92, P = 0.001, h^2p = 0.865	d = -0.85, P = 0.001	d = -0.82, P = 0.001	d = -0.11, P = 0.36	Improved landing pattern in FB and TP (lower score = better performance)
Initial characteristics	No	Mass (P = 0.68), height (P = 0.51), age (P = 0.84), experience (P = 0.94)	-	-	-	There were no significant differences between groups at baseline
Data normality	-	Shapiro-Wilk test: P \geq 0.05	-	-	-	Normal Data Distribution

Anexo 9: Comparison of real vs Simulated Feedback on squat performance during acquisition and learning phases

Variable	Statistical Results	Compared Group(s)	Significant	Remarks
Number of squats	$t(18) = 0.86, p = 0.40, d = 0.39$	Real Feedback First vs Simulated Feedback First	No	No significant differences in the number of squats.
Squat Performance - Acquisition Phase 1	Condition: $F(1,18)=2.03, p=0.17, \eta^2p=0.10$ Blocks: $F(3,54)=0.86, p=0.47, \eta^2p=0.05$ Interaction: $F(3,54)=0.23, p=0.88, \eta^2p=0.01$	Real vs simulated feedback during acquisition	No	There were no major effects or significant interactions.
Squat Performance - Acquisition Phase 2	Condition: $F(1,18)=1.15, p=0.30, \eta^2p=0.06$ Blocks: $F(3,54)=1.90, p=0.14, \eta^2p=0.10$ Interaction: $F(3,54)=0.45, p=0.72, \eta^2p=0.02$	Real vs simulated feedback during acquisition	No	Results consistent with phase 1.
Direct comparison between real vs simulated feedback (combined averages)	$t(19) = 3.06, p = 0.006, d = 0.57$	Real vs simulated feedback (global)	Yes	Better performance with real feedback compared to simulated.
Performance - Learning Phase	Order: $F(1,18)=0.56, p=0.46, \eta^2p=0.03$ Phase: $F(2,36)=0.19, p=0.83, \eta^2p=0.01$ Interaction: $F(2,36)=0.43, p=0.66, \eta^2p=0.02$	Test phase without feedback	No	There was no significant improvement when feedback was withdrawn.

Anexo 10: Relationship Between pKAM Improvement and Post-Intervention Functional Connectivity in aNMT Participants



Anexo 11: Effects of augmented Neuromuscular Training on Brain Connectivity and Knee Biomechanics

Analyzed Parameter	Statistical Data	Comparison / Group	Result	Main Conclusion
pKAM before intervention	$p > .05$	aNMT group vs Control group	Not significant	No differences between groups at baseline.
Percent change in pKAM	$t(28) = 1.92, p = .03, d = .71$	aNMT group vs Control group	Significant	aNMT group showed a greater reduction in peak knee abduction moment.
Connectivity between left thalamus and other ROIs	$F(4,13) = 7.52, \text{corrected } p = .0460$	aNMT group (pre vs post)	Significant	Significant increase in brain connectivity observed post-intervention.
Left thalamus and right supplementary motor area	$t(16) = 3.37, \text{corrected } p = .0473$	aNMT group (pre vs post)	Significant	Functional connectivity increased after training.
Relationship between pKAM improvement and cerebellum-thalamus connectivity	$t(15) = 4.89, \text{corrected } p = .0292, r^2 = .61$	aNMT group	Significant	Increased connectivity was associated with greater pKAM improvement.
Functional connectivity changes in control group	corrected $p > .05$	Control group (pre vs post)	Not significant	No meaningful changes in connectivity after intervention.

Anexo 12: Evaluation Framework for Pre-to-Play program : Usage and ACL injury reduction outcomes

Parameter	Primary Outcome (Use of Prep-to-Play)	Secondary Outcome (ACL Injury Reduction)
Type of Data	Binary outcome (weekly team usage)	Binary outcome (team-level ACL incidence)
Design	Stepped wedge cluster RCT, 10 clusters	Stepped wedge cluster RCT, team data aggregated from players
Cluster Period Size	14 teams per period	80 players (for 3% incidence) or 45 players (for 5% incidence)
ICC (Intra-cluster Correlation)	Base: 0.1 (range: 0.05–0.2)	Base: 0.01 (range: 0.001–0.05)
CAC (Cluster Auto-Correlation)	Base: 0.9 (range: 0.72–1)	Base: 0.9 (range: 0.72–1)
Estimated Baseline	9% usage in unsupported phase	3–5% ACL injury incidence in unsupported phase
Minimum Detectable Change	Increase to 16.5% usage	Reduction to 1.5% (from 3%) or to 2.5% (from 5%)
Statistical Power	88% (range: 86–89% ICC; 80–92% CAC)	91% (range: 83–96% ICC; 88–93% CAC)
Feasibility	Achievable with ≥ 14 teams per cluster	Feasible based on number of players per cluster

Anexo 13: Intragroup and intergroup differences for Kinetic Variable

Variables	Group	Landing	Pretest, mean (SD)	Posttest, mean (SD)	Intragroup differences	Intergroup differences
First peak GRF, N·kg ⁻¹	Experimental	Stick	0.71 (0.21)	0.60 (0.15)	.030*	$P_{stick} = .04^*$
		Step back	0.68 (0.20)	0.61 (0.27)	.045*	Effect size: 0.286
	Control	Stick	0.66 (0.17)	0.66 (0.20)	.083	$P_{step\ back} = .001^{**}$
		Step back	0.79 (0.21)	0.80 (0.22)	.225	Effect size: 0.233
Second peak GRF, N·kg ⁻¹	Experimental	Stick	1.81 (0.29)	1.39 (0.42)	.001*	$P_{stick} = .01^{**}$
		Step back	1.92 (0.33)	1.59 (0.32)	.005*	Effect size: 0.293
	Control	Stick	1.76 (0.21)	1.77 (0.22)	.879	$P_{step\ back} = .001^{**}$
		Step back	2.34 (0.58)	2.41 (0.53)	.177	Effect size: 0.303
ROL1, N/S-BW	Experimental	Stick	36.82 (8.23)	31.07 (7.92)	.032*	$P_{stick} = .01^{**}$
		Step back	39.14 (10.77)	34.06 (6.49)	.020*	Effect size: 0.225
	Control	Stick	41.65 (9.24)	41.84 (9.16)	.960	$P_{step\ back} = .001^{**}$
		Step back	50.44 (12.59)	51.69 (12.76)	.963	Effect size: 0.209
ROL2 N/S-BW	Experimental	Stick	45.31 (22.23)	15.82 (6.47)	.008*	$P_{stick} = .01^{**}$
		Step back	23.58 (7.02)	17.53 (3.53)	.002*	Effect size: 0.173
	Control	Stick	22.09 (2.72)	21.20 (3.14)	.454	$P_{step\ back} = .001^{**}$
		Step back	27.45 (5.83)	27.72 (5.65)	.913	Effect size: 0.349
DPSI	Experimental	Stick	0.60 (0.08)	0.55 (0.09)	.024*	$P_{stick} = .02^{**}$
		Step back	0.65 (0.08)	0.59 (0.07)	.013*	Effect size: 0.217
	Control	Stick	0.56 (0.05)	0.65 (0.17)	.066	$P_{step\ back} = .001^{**}$
		Step back	0.71 (0.12)	0.71 (0.15)	.988	Effect size: 0.204

Abbreviations: BW, body weight; DPSI, dynamic postural stability index; GRF, ground reaction force; ROL, rate of loading.
*Intragroup differences. **Intergroup differences.

Anexo 14: Tabla que analiza los metodos utilizados para medir la incidencia de lesiones del LCA (elaboracion propia)

Autor	Año	Muestra	Intervención	Variables	Resultados clave	Tipo de programa	Incidencia en grupo intervención	Incidencia en grupo control
Darragi et al.	2024	30 futbolistas jóvenes	Entrenamiento de fuerza (12 sem.)	Lesiones/1000h exposición	Reducción tasa de lesiones	Fuerza y capacidades específicas	0,48/1000h	2,62/1000h
Patterson et al.	2021	≥140 equipos	Prep-to-Play	Incidencia lesional	Reducción con mayor cumplimiento			
Shams et al.	2021	48 mujeres	Pliometría + feedback/taping	LESS	Mejoras post intervención	Pliometría con feedback	Mejora en puntuación LESS	
Bonnette et al.	2019	20 mujeres	Biofeedback en squat	pKAM	Reducción pKAM	Biofeedback en tiempo real	Mejora inmediata observada	

Anexo 15: Tabla que describe los componentes claves de los programas de prevención mas eficaces (elaboracion propia)

Autor	Año	Muestra	Intervención	Variables	Resultados clave	Componentes principales	Duración del programa
Diekfuss et al.	2021	17 mujeres	NMT + biofeedback	pKAM, conectividad	↓ pKAM, ↑ conectividad SMA-tálamo		
Shams et al.	2021	48 mujeres	Pliometría con feedback o taping	LESS, sentido articular	↓ LESS, ↑ propiocepción con taping		
Bonnette et al.	2019	20 mujeres	Sentadillas con feedback	Técnica de squat	Mejora técnica		
Patterson et al.	2022	Jugadoras	Prep-to-Play	Adherencia, incidencia	Relación positiva entre adhesión y menos lesiones	Calentamiento neuromuscular, habilidades específicas, educación	No especificado
Rostami et al.	2020	32 voleibolistas	Enfoque externo	Fuerza, estabilidad	Mejoras funcionales	Enfoque externo, estabilidad postural	6 semanas
Garcia et al.	2023	Futbolistas	Ejercicio terapéutico	DVJ, LESS	↓ valgo dinámico	Estabilización lumbopélvica, fuerza, pliometría	12 semanas
Ramezani et al.	2023	28 mujeres	NMT (8 semanas)	Coactivación, cinemática	↑ coactivación, ↓ ángulo rodilla	Entrenamiento neuromuscular, coactivación EMG	6 semanas
Boey et al.	2024	17 netballers	NMTP (1-3x/sem)	Momentos articulares	↓ carga con 1 sesión/sem	Fuerza, acondicionamiento, corte lateral	6 semanas

Anexo 16: Tabla de comparacion de programas de ejercicio terapeutico para prevenir lesiones del LCA
(elaboracion propia)

Autor	Año	Muestra	Intervención	Variables	Resultados clave	Enfoque del programa	Resultados observados
Shams et al.	2021	48 mujeres	Terapéutico	LESS, propiocepción	Mejoras claras	Pliometría con feedback y taping	Mejora en control postural y LESS
Patterson et al.	2022	Equipos fútbol	Fuerza + técnica	Incidencia	↓ lesiones en grupos adherentes		
Rostami et al.	2020	32 voleibolistas	Enfoque externo	Estabilidad, fuerza	Mejoras funcionales	Ejercicios con enfoque externo	Mejora en rendimiento funcional
Diekfuss et al.	2021	17 mujeres	NMT + feedback	pKAM, conectividad	Resultados positivos	Entrenamiento neuromuscular aumentado (aNMT)	Reducción de factores de riesgo biomecánicos

Anexo 17: Tabla que determina el ejercicio terapeutico mas eficaz para reducir los factores de riesgo biomecanicos (elaboracion propia)

Autor	Año	Muestra	Intervención	Variab les	Resul tados clave	Tipos de ejercicios	Beneficios observados
Rostami et al.	2020	Voleibolistas	Enfoque externo	Estabilidad, fuerza	Mejoras significativas	Enfoque externo	Mejora en estabilidad y absorción de impacto
Patterson et al.	2022	Fútbol femenino	Programa mixto	Inciden cia	↓ lesiones con cumplimiento		
Diekfuss et al.	2021	17 mujeres	Feedback real	pKAM, conectividad	Mejoras biomecánicas	aNMT con biofeedback	Reducción de momento de abducción máxima
Garcia et al.	2023	Futbolistas	Ejercicio terapéutico	Valgo, postural	Mejora funcional	Estabilización lumbopélvica, fuerza, pliometría	Mejora en fuerza y equilibrio
Ramezani et al.	2023	28 mujeres	Neuromuscular	Coactivación, cinemática	Mejoras biomecánicas	Salto con contramovimiento, coactivación EMG	Reducción del valgo de rodilla
Boey et al.	2024	Netballers	NMTP	Momentos articulares	↓ carga rotacional	Fuerza y acondicionamiento	Reducción de momentos de abducción de rodilla

Anexo 18: Tabla para determinar la duracion óptima de un programa preventivo eficaz. (elaboracion propia)

Autor	Año	Duración de intervención	Intervención	Variables	Resultados clave	Duración del programa	Cambios observados
Garcia et al.	2023	12 semanas	LESS, DVJ	Mejoras mantenidas	Reducción valgo, mejoras biomecánicas sostenidas	12 semanas	Reducción del riesgo de lesión
Ramezani et al.	2023	8 semanas	Coactivación, rodilla	Cambios significativos	Adaptaciones neuromusculares claras		
Boey et al.	2024	6 semanas	Carga articular	↓ carga significative	Disminución en carga de rodilla	6 semanas	Mejora en momentos de abducción y rotación
Bonnette et al.	2019	8 bloques (110 sentadillas)	pKAM	Resultados inmediatos	Cambios positivos a corto plazo	No especificado	Mejoras inmediatas con biofeedback
Patterson et al.	2022	~14 sem x 2 temporadas	Uso del programa e incidencia de lesiones	↓ lesiones con adherencia	Reduccion mantenida en equipos co adhesion continua	No especificado	Mejora en habilidades específicas y educación