

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

FACULTAD DE MEDICINA

TRABAJO FIN DE GRADO EN PODOLOGÍA



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

**CÓMO AFECTA LA BIOMECÁNICA DEL PIE A LAS LESIONES DE
LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR EN FUTBOLISTAS.**

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

AUTOR: PICAZO MUÑOZ, DAVID

TUTOR: PASCUAL GUTIERREZ, ROBERTO

Departamento de Ciencias del Comportamiento y la Salud. Área de Enfermería

Curso académico: 2024-2025

Convocatoria de: JUNIO

ÍNDICE

Índice de Figuras.....	2
Índice de Tablas.....	2
Resumen.....	3
Palabras Clave.....	3
Abstract.....	4
Key Words.....	4
Abreviaturas.....	5
1. Introducción.....	6
2. Hipótesis.....	10
3. Objetivos.....	10
4. Metodología.....	11
5. Resultados.....	13
6. Discusión.....	22
7. Conclusión.....	23
8. Anexos.....	24
9. Referencias.....	25

Índice de Figuras

Figura 1.....	8
Figura 2.....	12
Figura 3.....	17
Figura 4.....	19

Índice de Tablas

Tabla 1.....	13
--------------	----



Resumen

Introducción: El fútbol es uno de los deportes de contacto que más se practica a nivel mundial, en este se suelen producir muchos tipos de lesiones, entre ellas una de las más comunes es la del ligamento cruzado anterior. El pie y su biomecánica tiene un papel muy importante en la práctica de este deporte, ya que gracias a sus movimientos, se puede producir una mayor carga en la rodilla, aumentando el riesgo de este tipo de afección.

Objetivos: Comprobar si la biomecánica del pie influye en las lesiones de ligamento cruzado anterior.

Metodología: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en PubMed y Scopus, obteniendo 6 artículos. Se seleccionaron estudios enfocados en cómo afectaba la biomecánica del pie a los futbolistas en movimientos específicos del fútbol, excluyendo revisiones y aquellos artículos que fueran más de 5 años de antigüedad.

Resultados y Conclusiones: Los estudios revisados indican que las alteraciones biomecánicas a nivel del pie en acciones específicas del fútbol influyen en el aumento de carga a nivel de la rodilla provocando un aumento del riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior. Se requiere incluir estrategias de prevención a nivel biomecánico y muscular para reducir el riesgo de lesión del LCA en futbolistas.

Palabras Clave

“Ligamento Cruzado Anterior”, “pie”, “biomecánica del pie”, “jugadores de fútbol”, “lesión”.

Abstract

Introduction: Football is one of the most widely practiced contact sports in the world. In this sport, many types of injuries can occur, among which one of the most common is the anterior cruciate ligament injury. The foot and its biomechanics play a very important role in the practice of this sport, as their movements can generate a greater load on the knee, increasing the risk of this type of injury.

Objectives: To verify whether foot biomechanics influence anterior cruciate ligament injuries.

Methodology: A bibliographic review was conducted in PubMed and Scopus, obtaining 6 articles. Studies focused on how foot biomechanics affect football players in specific football movements were selected, excluding reviews and articles older than 5 years.

Results and Conclusions: The reviewed studies indicate that biomechanical alterations at the foot level during specific football actions increase the load on the knee, raising the risk of anterior cruciate ligament injury. It is necessary to include biomechanical and muscular prevention strategies to reduce the risk of ACL injury in football players.

Key Words

“Anterior cruciate ligament”, “foot”, “foot biomechanics”, “soccer players”, “injury”.

Abreviaturas

- COD: Cambio de dirección
- LCA: Ligamento cruzado anterior
- KAM: Momento de abducción de rodilla
- KIRM: Rotación interna de rodilla
- FPA: Ángulo de proyección del pie
- FPKPA: Ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal
- PA: Ángulo de inclinación de la pelvis
- TA: Ángulo de inclinación del tronco
- DEC: Sprint frontal con desaceleración
- MMII: Miembros inferiores
- SL: Apoyo a una sola pierna
- FP: Flexión plantar de tobillo
- TPA: Articulación Tibio-Peroneo Astragalina
- PFC: Contacto del penúltimo apoyo del pie
- GRF: Fuerzas reactivas del suelo

1. Introducción

El fútbol es uno de los deportes más practicados del mundo con más de 210 millones de jugadores registrados en todo el mundo (1). Dentro del fútbol hay varios tipos: (césped, sala, playa, americano...) pero los más conocidos y practicados son el fútbol césped y el americano. La metodología de juego es parecida, tanto el fútbol césped como el americano juegan 11 jugadores de un equipo contra 11 de otro, así como los patrones de movimiento y el alto impacto físico que entran en juego a la hora de practicar ambos (2). Al ser un deporte tan conocido se juega a varios niveles ya sea a nivel amateur o a nivel profesional. El fútbol es un deporte de contacto, por tanto se suelen producir muchas lesiones, siendo entre el 60 y el 98% lesiones en las extremidades inferiores (1). Las lesiones más frecuentes de miembros inferiores en el fútbol se localizan en: muslo-tobillo, ingle-cadera, cuádriceps-isquiotibiales, ligamento interno, cruzado y externo (3). Este deporte implica una gran variedad de movimientos multidireccionales específicos para todo tipo de jugadores, tanto a nivel amateur como a nivel profesional. Los jugadores llevan a cabo movimientos de cambio de dirección, corte, aceleración, desaceleración, salto, aterrizaje, carreras a máxima velocidad... La maniobra de cambio de dirección o COD es de las más frecuentes que se realizan en el fútbol, (600 cortes de 0° a 90° por partido). Esto provoca una alta carga multiplanar en la articulación de la rodilla provocando aumento de tensión en el ligamento cruzado anterior (4).

El pie está compuesto por 26 huesos, 33 articulaciones y más de 100 músculos, tendones y ligamentos, lo que le confiere una gran complejidad biomecánica. Esta estructura trabaja en conjunto para permitir tanto la amortiguación del impacto como la propulsión eficiente del cuerpo. Los movimientos básicos biomecánicos que realiza el pie son los siguientes (5):

- Pronación: Es un movimiento complejo que combina la eversión del retropié, la abducción del antepié y la dorsiflexión del tobillo. Esto provoca que el arco longitudinal medial se aplane y que el peso del cuerpo se desplace hacia el borde interno del pie. Es esencial para absorber el impacto al caminar o correr, distribuyendo las fuerzas generadas en cada paso (5).
- Supinación: Es el movimiento opuesto a la pronación, que combina inversión del retropié, aducción del antepié y flexión plantar del tobillo. Esto eleva el arco del pie, aumentando su rigidez para mejorar la propulsión. Necesario para las fases de despegue de la marcha (5).
- Flexión Plantar: Se refiere a la acción de mover el pie hacia abajo, como al ponerse de puntillas. Implica una contracción de los músculos de la parte posterior de la pierna, como el gastrocnemio y el sóleo, y es fundamental para impulsar el cuerpo hacia adelante durante la carrera o el salto (5).
- Dorsiflexión: Es el movimiento opuesto a la flexión plantar, donde el pie se acerca al tobillo, tirando de los dedos hacia arriba. Este movimiento es crucial para absorber fuerzas durante el aterrizaje y estabilizar el pie durante la fase de apoyo en la marcha (5).
- Abducción: Movimiento en el que el pie se desplaza hacia afuera, alejándose de la línea media del cuerpo. Ocurre principalmente en el plano transversal y es común durante maniobras de corte o cambios de dirección (5).

- Aducción: Es el movimiento contrario, en el que el pie se acerca a la línea media del cuerpo, ayudando a estabilizar la pisada en ciertas fases del movimiento. (5)

Cuadro I. Anatomía funcional pie-tobillo.		
Movimiento	Músculos	Articulaciones involucradas-estabilizadores
Flexo-extensión tobillo	Dorsiflexión: tibial anterior, extensor propio del dedo gordo, extensor común de los dedos del pie. Flexores plantares: peroneos largo y corto, gemelos y sóleo, flexor largo del <i>hallux</i> , tibial posterior	Tibio-peroneo-astragalina ¹ Flexión plantar: peroneo-astragalino anterior ¹ (detiene la inversión) Dorsiflexión: peroneocalcáneo ¹
Flexo-extensión dedos	Flexor largo del dedo gordo, largo común de los dedos del pie. Extensor propio del <i>hallux</i> , extensor común de los dedos del pie	Metatarsofalángicas e interfalángicas ¹
Rotación interna-rotación externa	Se realiza un movimiento conjunto de la extremidad	Coxofemoral ¹
Aducción-abducción	Movimiento conjunto con pronación y supinación	Subastragalina y Chopart ¹
Pronación-supinación del tarso	Inversión: tibial anterior-posterior Eversión: peroneos	Subastragalina y Chopart ¹
Flexión-extensión del antepié	Flexores y extensores de los dedos	Subastragalina y Chopart ¹
Pronación-supinación de antepié	Tibial anterior-posterior. Peroneos	Lisfranc ¹

Figura 1. Anatomía funcional pie-tobillo (5).

El ligamento cruzado anterior (LCA), es la principal estructura estabilizadora de la rodilla, se origina en la cara medial del cóndilo femoral lateral y se inserta en la zona intercondílea anterior de la tibia. Las funciones básicas de este ligamento son controlar la traslación anterior, la rotación anterior y la rotación interna excesiva (6). El ligamento, como tejido conectivo denso, se caracteriza por una tensión viscoelástica de corto plazo. Las lesiones del LCA se encuentran entre las más comunes a nivel de la rodilla siendo de 51,2 cada 100.000 personas anualmente. Tras la rotura del ligamento cruzado anterior (LCA), los pacientes sufren una disminución general de su nivel de ejercicio y calidad de vida, produciendo consecuencias a corto y largo plazo a nivel físico y psicológico, debilitando y amenazando la carrera profesional del deportista (7). Incluso con un tratamiento adecuado, apenas el 55% de los pacientes es capaz de recuperar su nivel deportivo anterior a la lesión durante el 1º año (8) .

Teniendo en cuenta lo importante que resulta una estructura como el LCA a nivel biomecánico para atletas, como pueden ser un futbolista, nosotros como podólogos queremos saber cómo puede afectar una parte tan importante para este deporte como es el pie, así como sus características y su biomecánica para poder realizar una prevención sobre este tipo de lesión tan complicada para la salud de un futbolista y así poder disminuir sus factores de riesgo.

2. Hipótesis

Pregunta PICO:

- **P(Paciente):** Futbolistas
- **I(Intervención Analizar):** Alteraciones biomecánicas del pie
- **C(Comparación):** Biomecánica normal
- **O(Resultados):** Riesgo de lesión del LCA

La hipótesis a confirmar en esta revisión sería la siguiente: **”Existe relación entre las alteraciones biomecánicas del pie y un mayor riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior en futbolistas.”**

3. Objetivos

Los objetivos serían los siguientes:

- Identificar alteraciones funcionales a nivel del pie que puedan contribuir a patrones de carga lesivos a nivel de la rodilla.
- Estudiar cómo estas alteraciones biomecánicas (pronación, rotación del pie, flexión dorsal y flexión plantar) afectan a la estabilidad articular durante acciones deportivas específicas.
- Proponer estrategias preventivas desde un ámbito podológico, orientadas a reducir el riesgo de lesión del LCA en futbolistas.

4. Metodología

Tras haber sido aceptada la solicitud de Código de Investigación Responsable (COIR), siendo el código de autorización: **TFG.GPO.RPG.DPM.250514**, se realizó una revisión bibliográfica durante los meses de Febrero a Mayo de 2025 en las bases de datos **PubMed** y **Scopus**. Las palabras clave (términos MESH) que utilizamos fueron las siguientes; **"Anterior cruciate ligament"**, **"ACL"**, **"foot"**, **"foot biomechanics"**, **"foot structure"**, **"lower limb biomechanics"**, **"foot mechanics"**, **"subtalar joint"**, **"pronation"**, **"foot alignment"**, **"soccer"**, **"football"**, **"soccer players"**, **"injury"**, **"lesion"** y como operadores booleanos; **"AND"**, **"OR"**.

Las ecuaciones de búsqueda que utilizamos en las bases de datos para encontrar los artículos fueron las siguientes:

Fórmula Pubmed

("Anterior Cruciate Ligament" OR "ACL") AND ("foot" OR "foot biomechanics" OR "foot structure") AND ("soccer" OR "football") AND ("injury" OR "lesion")

Fórmula Scopus

(TITLE-ABS-KEY("ACL injury" OR "anterior cruciate ligament tear") AND

TITLE-ABS-KEY("lower limb biomechanics" OR "foot mechanics" OR "subtalar joint" OR "pronation" OR "foot alignment") AND

TITLE-ABS-KEY("soccer" OR "football"))

Los criterios de inclusión que planteamos en nuestra revisión fueron: Artículos en inglés/español, publicados en los últimos 5 años, que hablen sobre fútbol o futbolistas, con un nivel de evidencia 2 o superior con recomendación fuerte o muy fuerte y estudios con población deportista. Como criterios de exclusión no se incluyeron: Aquellos estudios/artículos sin relación directa con el LCA o sin mención a características biomecánicas del pie o que hablen del fútbol sala o fútbol playa.

- Diagrama Prisma:

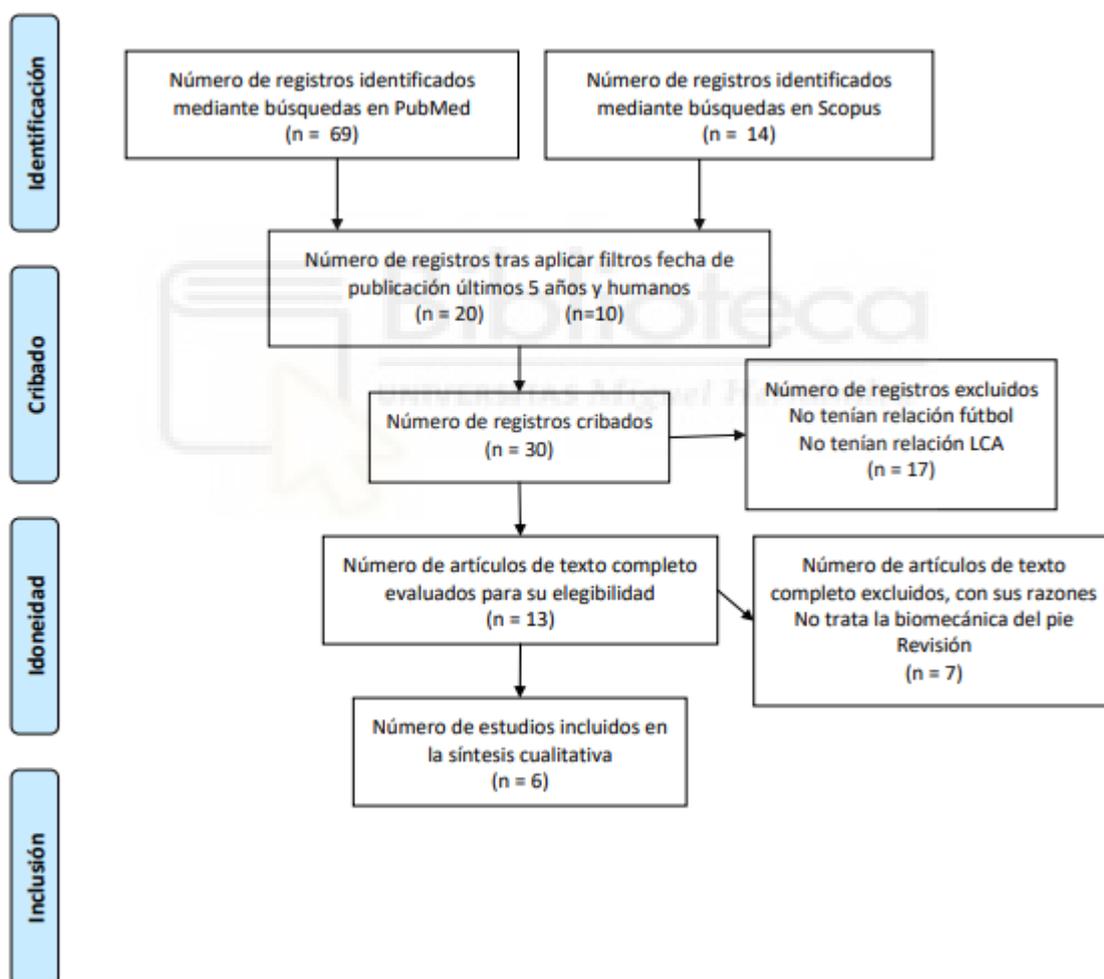


Figura 2. Diagrama de flujo sobre la búsqueda bibliográfica realizada en las bases de datos PubMed y Scopus.

5. Resultados

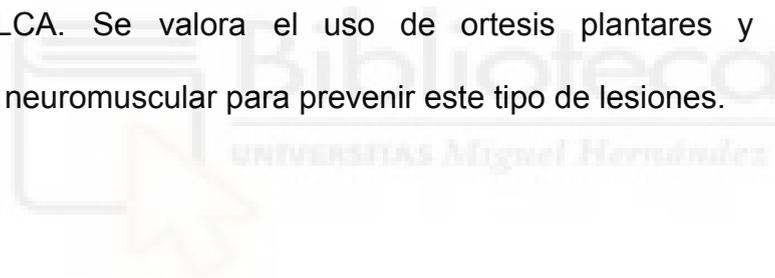
TÍTULO	AUTORES	AÑO PUBLICACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	CONCLUSIONES	NIVEL DE EVIDENCIA Y RECOMENDACIÓN
How Subtalar Kinematics Affects Knee Laxity in Soccer Players After ACL Injury?	Kakavas et al.	2023	Estudio comparativo con 36 futbolistas, usando escáner 3D y pruebas de laximetría.	Se encontró mayor hiperpronación y laxitud articular de rodilla en jugadores con lesión previa de LCA.	El análisis del movimiento subtalar puede servir como marcador clínico para la prevención de nuevas lesiones.	Nivel II. Recomendación fuerte.
Foot rotation and pelvic angle correlate with knee abduction moment during 180 lateral cut in football players	Di Paolo et al.	2023	Estudio biomecánico con análisis 2D y 3D en 34 futbolistas durante un corte de 180°.	Se observó que la rotación externa del pie y la inclinación pélvica aumentaban el momento de abducción de rodilla.	Estos indicadores pueden identificarse en vídeo, lo que facilita su uso preventivo.	Nivel II. Recomendación fuerte.

<p>Do healthy athletes exhibit at-risk biomechanics for anterior cruciate ligament injury during pivoting movements?</p>	<p>Di Paolo et al.</p>	<p>2024</p>	<p>Estudios con sensores inerciales (Xsens) realizado en 34 atletas sin lesiones previas.</p>	<p>El 71% de los participantes presentó patrones biomecánicos de riesgo, con mayor prevalencia en mujeres y en movimientos de alta velocidad.</p>	<p>Se destaca la importancia de realizar evaluaciones biomecánicas incluso en atletas sin antecedentes lesionales.</p>	<p>Nivel II. Recomendación fuerte.</p>
<p>Contribution of ankle motion pattern during landing to reduce the knee-related injury risk</p>	<p>Xu et al.</p>	<p>2024</p>	<p>Estudio con simulación musculoesquelética y FEA en 30 sujetos durante el aterrizaje.</p>	<p>Una mayor flexión plantar del tobillo al aterrizar disminuye significativamente las fuerzas sobre el LCA y la rodilla.</p>	<p>Optimizar la técnica de aterrizaje podría reducir el riesgo de lesión en la articulación de la rodilla.</p>	<p>Nivel II. Recomendación fuerte.</p>

<p>Biomechanical Determinants of Performance and Injury Risk During Cutting: A Performance-Injury Conflict?</p>	<p>Dos'Santos et al.</p>	<p>2021</p>	<p>Estudio de cohortes con 61 atletas. Evaluación 3D durante cambios de dirección de 90°.</p>	<p>Las técnicas que mejoran el rendimiento atlético tienden a incrementar las fuerzas de carga en la rodilla.</p>	<p>Se requiere encontrar el equilibrio entre el rendimiento y la seguridad mediante entrenamiento técnico específico.</p>	<p>Nivel II. Recomendación fuerte.</p>
<p>Influences of fatigue and anticipation on female soccer players' biomechanical characteristics during 180° pivot turn: implication for risk and prevention of anterior cruciate ligament injury</p>	<p>Zou et al.</p>	<p>2024</p>	<p>Estudio experimental con 21 futbolistas femeninas de alto nivel. Se analizaron maniobras de giro de 180° bajo condiciones anticipadas y no anticipadas, antes y después de inducir fatiga. Se midieron variables cinemáticas y fuerzas de reacción del suelo (GRF).</p>	<p>Se observaron mayores fuerzas articulares y menor control biomecánico en situaciones de fatiga y no anticipadas. Aumentó la rotación interna de cadera, reducción de flexión de rodilla y variabilidad en la FD del tobillo.</p>	<p>La fatiga y la falta de anticipación alteran la mecánica del pie y miembro inferior, favoreciendo patrones de riesgo para el LCA. Se destaca la importancia de entrenar bajo circunstancias de alta demanda física y cognitiva.</p>	<p>Nivel II. Recomendación fuerte.</p>

Tabla 1. Tabla de resultados de los principales artículos de la revisión (9), (10), (11), (8), (4), (12).

Según el artículo **“How Subtalar Kinematics Affects Knee Laxity in Soccer Players After Anterior Cruciate Ligament Injury?”**(9), tras realizarse un estudio comparativo en 36 futbolistas, se comparó a 2 grupos distintos, 18 sujetos sin lesión previa de LCA y 18 sujetos con lesión previa tratada de LCA. Los resultados demostraron que aquel grupo de sujetos con lesión previa de LCA, presentaban mayor pronación a nivel subtalar con su consecuente rotación interna de tibia provocando mayor carga a nivel de la rodilla y con ello mayor tensión del LCA. También a mayor hiperlaxitud articular a nivel de rodilla, junto con un adelantamiento de la tibia, provoca un mayor valgo de rodilla durante gestos deportivos como giro o desaceleración y con ello mayor tensión en el LCA. Tanto la hiperpronación como la laxitud de rodilla pueden ser 2 marcadores clínicos ante posible riesgo de futuras lesiones de LCA. Se valora el uso de ortesis plantares y programas de fortalecimiento neuromuscular para prevenir este tipo de lesiones.



Según el artículo “**Foot rotation and pelvic angle correlate with knee abduction moment during 180° lateral cut in football players**” (10), se realizó un estudio biomecánico en 34 futbolistas sobre una prueba de corte lateral de 180° a máxima velocidad medida con cámaras 2D y análisis 3D para medir 4 posibles variables angulares relacionadas con la abducción de la rodilla (KAM):

- FPA (ángulo de proyección del pie)
- FPKPA (ángulo de proyección de la rodilla en el plano frontal)
- PA (inclinación de la pelvis)
- TA (inclinación del tronco)

Los resultados demostraron que el FPA y el PA fueron los únicos que pronostican el aumento del KAM, teniendo aquellos jugadores con mayor FPA y PA una mayor carga articular en la rodilla. Al presentarse una mayor rotación externa del pie combinada con una inclinación pélvica contralateral durante maniobras de cambio de dirección se asocia con un mayor riesgo de sobrecarga a nivel de la rodilla. El videoanálisis 2D puede ser útil para detectar patrones de riesgo en el fútbol y por lo tanto, ayudar a su prevención. Se valora incluir estos movimientos y medidas en protocolos de prevención de lesiones del LCA.

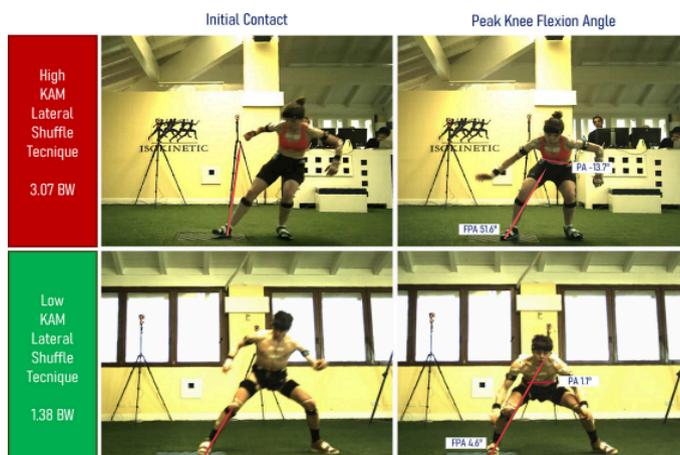


Figura 3. Corte lateral 180° realizado con pie rotado y caída pélvica contralateral (fila superior) y con pie y pelvis neutrales (fila inferior) (10).

Según el artículo **“Do healthy athletes exhibit at-risk biomechanics for anterior cruciate ligament injury during pivoting movements?”** (11), se realizó un estudio en 34 atletas sin lesiones previas (de los cuales 28 practicaban fútbol), sobre un sprint frontal con desaceleración (DEC) y un cambio de dirección a 90° (COD) medido con 15 sensores inerciales Xsens, los cuales analizaron 9 factores de riesgo biomecánico:

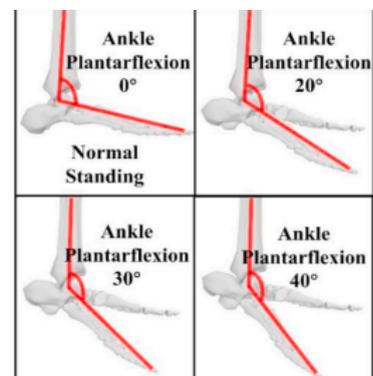
- Flexión limitada MMII (rodilla, cadera, tobillo)
- Colapso en valgo (valgo rodilla, abducción/aducción de cadera y rotación interna)
- Rotación del pie
- Rotación del tronco (flexión ipsilateral, rotación contralateral)

Un ensayo de movimiento se consideró “de riesgo” en presencia de al menos 5 de 9 factores de riesgo simultáneos.

Los resultados demostraron que el 71% de los atletas presentaron el perfil de riesgo al menos una vez y el 15% lo presentaron al menos 3 ensayos. El perfil de riesgo tenía mayor probabilidad de presentarse en movimientos realizados con mayor velocidad de aproximación y por atletas femeninas. Se observó una mayor carga en valgo y rotación en la rodilla en aquellos atletas con perfil de riesgo, lo que indicaba aumento del riesgo de sobrecarga del ligamento de la rodilla y posterior ruptura del LCA. Se valora realizar programas de detección a gran escala en la población joven para identificar tempranamente los perfiles de riesgo y adoptar estrategias preventivas.

Según el artículo “**Contribution of ankle motion pattern during landing to reduce the knee-related injury risk**” (8), se realizó un estudio en 30 sujetos masculinos sobre cómo los diferentes ángulos de flexión plantar de tobillo durante un aterrizaje a una sola pierna (SL); (técnica frecuentemente realizada en deportes multidireccionales como el fútbol), influía en la carga de impacto a nivel de rodilla y el riesgo de lesión del LCA evaluado con sensores EMG, simulación musculoesquelética y FEA. Se evaluaron pruebas de aterrizaje a SL con ángulos de flexión plantar de 20°, 30° y 40° y como afectaba a la fuerza de impacto en rodilla, al trabajo negativo articular (disipación de energía) y la carga interna del LCA. Los resultados demostraron que a mayor flexión plantar (FP) de tobillo, la fuerza de impacto vertical y anterior en la rodilla disminuye, así como la carga interna sobre el LCA. También se reduce el estrés máximo en el LCA (en su inserción femoral, donde se localiza el mayor estrés del LCA y la mayoría de roturas), menisco y cartílago femoral. Esta disminución se produce al aumentar el trabajo negativo ya que a mayor FP, se produce un aumento de superficie de contacto del astrágalo con el antepié, así como un aumento del volumen y movilidad de la cápsula articular TPA favoreciendo la absorción de fuerzas de impacto durante el aterrizaje. Se valora realizar programas de aterrizaje especial que aumenten el ángulo de flexión plantar y así reducir el riesgo de lesiones de LCA.

Figura 4. Ángulo de FP tobillo para bipedestación normal y 3 ángulos de FP de tobillo durante el aterrizaje a SL (8).



Según el artículo “**Biomechanical Determinants of Performance and Injury Risk During Cutting: A Performance-Injury Conflict?**” (4), se realizó un estudio con 61 atletas masculinos de deportes multidireccionales (entre ellos el fútbol) sobre la maniobra de corte de 90° (COD) y cómo influye tanto en el rendimiento deportivo como en el riesgo de lesión de LCA. Para ello mediante un análisis 3D y plataforma de fuerza se analizó las siguientes variables:

- Velocidades de centro de masa (COM)
- Fuerza propulsivas y de frenado
- Ángulos de flexión de cadera/rodilla
- Ángulos de progresión del pie
- Momentos de abducción y rotación interna de rodilla (KAM Y KIRM)

Los resultados demostraron que un mejor rendimiento, es decir un corte más rápido se asocia con velocidades más altas del COM, fuerzas de frenado y propulsión más elevadas, menos rangos de flexión de cadera y rodilla y mayores ángulos internos de progresión del pie. A la vez, un mayor riesgo de lesión de LCA se asocia a mayores KAM y KIRM a nivel de rodilla, velocidades de aproximación y frenado elevadas y mayor base de apoyo lateral del pie. Esto genera un conflicto ya que las técnicas que mejoran el rendimiento también incrementan la carga a nivel de rodilla, elevando el riesgo de lesión. Se valora implementar estrategias específicas de frenado predominantes en el penúltimo apoyo (PFC), reducir la flexión lateral del tronco y minimizar el valgo de rodilla para una ejecución más rápida y segura. También proponer un programa de entrenamiento que mejore la capacidad física de los atletas a nivel de fuerza, pliometría, equilibrio, control de tronco y COD y así preparar el cuerpo del atleta para tolerar las cargas biomecánicas elevadas y reducir el riesgo de lesión del LCA.

Según el artículo **“Influences of fatigue and anticipation on female soccer players’ biomechanical characteristics during 180° pivot turn: implication for risk and prevention of anterior cruciate ligament injury”** (12), se realizó un estudio con 21 futbolistas femeninas de élite sobre cómo la fatiga muscular y la falta de anticipación afecta la biomecánica del miembro inferior durante giros de 180° y cómo estos factores podrían influir en el riesgo de sufrir lesiones del LCA. Se analizaron ángulos articulares de cadera, rodilla y tobillo usando un sistema de captura de movimiento 3D y plataformas de fuerza así como momentos de fuerza y fuerzas reactivas del suelo (GRF). Los resultados demostraron que en pruebas no anticipadas, se produce una mayor rotación interna de cadera, menor ángulo de flexión de rodilla y variabilidad en la dorsiflexión del tobillo. Junto con la fatiga, se incrementan las GRF, así como la capacidad de absorción de impacto, comprometiendo la estabilidad articular y con ello aumentando el riesgo de lesiones del LCA. Se valora la implementación de entrenamientos específicos que mejoren las respuestas físicas y cognitivas en situaciones no anticipadas, para así prevenir futuras lesiones del LCA.

6. Discusión

El análisis de los artículos seleccionados para esta revisión respalda la hipótesis inicial de que las alteraciones biomecánicas del pie pueden aumentar significativamente el riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) en futbolistas.

Una mayor pronación a nivel subtalar junto con una mayor hiperlaxitud a nivel de rodilla incrementan la carga en el LCA durante movimientos deportivos como giros y desaceleraciones, aumentando el riesgo de futuras lesiones (9). A mayor rotación externa del pie y caída contralateral de la pelvis durante cortes laterales de 180°, se aumenta el momento de abducción de rodilla (KAM) y con ello a la estabilidad de la rodilla, provocando un aumento de la carga articular y del riesgo de lesión (10). En aterrizajes a una sola pierna (SL), a menor ángulo de flexión plantar de tobillo, aumentan las fuerzas de impacto sobre la rodilla y con ello la carga en el LCA (8).

En movimientos comunes de fútbol, como sprint con desaceleración (DEC) o cambio de dirección (COD), se demostró que un alto porcentaje de atletas sanos presentaban patrones biomecánicos de riesgo, lo que aumentaba el colapso en valgo y rotación interna de la rodilla, aumentando el riesgo de lesiones de LCA (11).

Ante situaciones no anticipadas y de fatiga durante giros de 180°, se demostró un menor control biomecánico de las articulaciones y disipación de las FRS, favoreciendo a patrones de carga lesivos para el LCA (12). En maniobras de corte (COD), una mejora del rendimiento supone una mayor carga a nivel de la rodilla aumentando el riesgo de lesión (4).

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de incluir estrategias preventivas para evitar lesiones a nivel del LCA; con marcadores clínicos como la hiperpronación y la laxitud articular (9), además de patrones de riesgo a la hora de realizar técnicas deportivas específicas como la inclinación de la pelvis (PA), el ángulo de proyección del pie (FPA) (10), el valgo de rodilla o rotación interna de rodilla (11). También programas específicos de técnica de aterrizaje que mejoren el control de tobillo y aumenten el ángulo de flexión plantar (8). Es importante también incluir entrenamientos técnicos específicos que mejoren las capacidades físicas de los atletas (fuerza, control neuromuscular), para preparar al cuerpo a soportar mayores cargas a nivel biomecánico (4), junto con entrenamientos que simulen las condiciones reales de juego, ya que trabajan bajo circunstancias de alta demanda física y cognitiva donde las decisiones espontáneas y la fatiga son frecuentes (12).

7. Conclusión

Las alteraciones biomecánicas del pie (pronación, rotación externa del pie y ángulos de flexión plantar) en acciones deportivas específicas de deportes multidireccionales como el fútbol, influyen en las fuerzas de carga a nivel de la rodilla provocando un aumento del riesgo de lesión del LCA. Se necesita más investigación sobre cómo afecta el valor del FPI a la capacidad de lesión del LCA, ya que no hay estudios que investiguen esta relación, además de incluir estrategias de prevención que trabajen tanto los marcadores clínicos como los patrones de riesgo a nivel biomecánico del pie, así como la fuerza y el control neuromuscular para reducir eficazmente el riesgo de lesiones del LCA en futbolistas.

8. Anexos



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

Elche, a 15/05/2025

Nombre del tutor/a	Roberto Pascual Gutiérrez
Nombre del alumno/a	DAVID PICAZO MUÑOZ
Tipo de actividad	Sin implicaciones ético-legales
Título del 1. TFG (Trabajo Fin de Grado)	Revisión Bibliográfica sobre como afecta la biomecánica del pie a las lesiones de ligamento cruzado anterior en futbolistas.
Evaluación de riesgos laborales	No solicitado/No procede
Evaluación ética humanos	No solicitado/No procede
Código provisional	250514094231
Código de autorización COIR	TFG.GPO.RPG.DPM.250514
Caducidad	2 años

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

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Revisión Bibliográfica sobre como afecta la biomecánica del pie a las lesiones de ligamento cruzado anterior en futbolistas**, ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)", habiéndose determinado que no requiere ninguna evaluación adicional. Es importante destacar que si la información aportada en dicho formulario no es correcta este informe no tiene validez.

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

Atentamente,

Alberto Pastor Campos
Jefe de la Oficina de Investigación Responsable
Vicerrectorado de Investigación y Transferencia



Anexo 1. Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR).

9. Referencias

1. Snodgrass SJ, Ryan KE, Miller A, James D, Callister R. Relationship between posture and non-contact lower limb injury in young male amateur football players: a prospective cohort study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(12):6424. doi:10.3390/ijerph18126424.
2. EF Education First. Soccer vs fútbol americano: 10 diferencias principales [Internet]. EF Education First Blog. [citado el 16 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.ef.com.es/blog/language/soccer-futbol-americano-diferencias/>
3. Mendoza Lobo Karen Lizeth, López Bueno Maylene, Mesa Anoceto Magda, Rodríguez García Ardy Rafael. Análisis de las lesiones más frecuentes en miembros inferiores en el fútbol. *Rev Podium* [Internet]. 2022 Dic [citado 2025 Mayo 14] ; 17(3): 1269-1280. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1996-24522022000301269&lng=es. Epub 28-Sep-2022.
4. Dos'Santos T, Thomas C, McBurnie A, Comfort P, Jones PA. Biomechanical determinants of performance and injury risk during cutting: a performance–injury conflict? *Sports Med*. 2021;51(10):1983–98. doi:10.1007/s40279-021-01448-3.



5. Sánchez Hernández EV, de Loera Rodríguez CO, Cobar Bustamante AE, Martín Oliva X. Biomecánica funcional del pie y tobillo: comprendiendo las lesiones en el deportista. *Orthotips*. 2016;12(1):6-11.
6. Forriol F, Maestro A, Vaquero Martín J. El Ligamento cruzado anterior: morfología y función. *Trauma Fund MAPFRE*. 2008;19(Suppl 1):7-18.
7. Gopinath V, Smith MV, Matava MJ, Brophy RH, Knapik DM. Most anterior cruciate ligament injuries in professional athletes occur without contact to the injured knee: A systematic review of video analysis studies. *Arthroscopy*. 2025;41(4):1155–1162. doi:10.1016/j.arthro.2024.03.047.
8. Xu D, Zhou H, Wang M, Ma X, Gusztav F, Chon TE, Fernandez J, Baker JS, Gu Y. Contribution of ankle motion pattern during landing to reduce the knee-related injury risk. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2024;5. doi: 10.34133/cbsystems.0126
9. Kakavas G, Malliaropoulos N, Maffulli N, Padhiar N, Moraes A, Goom T. How Subtalar Kinematics Affects Knee Laxity in Soccer Players After ACL Injury. *J Sport Rehabil*. 2023;32(1):54-60. doi:10.1123/jsr.2022-0114.
10. Di Paolo S, Sforza C, Porta M, Galli M, Montecchi C. Foot rotation and pelvic angle correlate with knee abduction moment in male football players. *Gait Posture*. 2023;103:19-24. doi:10.1016/j.gaitpost.2023.01.010.

11. Di Paolo S, Sforza C, Porta M, Galli M, Montecchi C. Do healthy athletes exhibit at-risk biomechanics for ACL injury during pivoting movements? *Sports Biomech.* 2024;23(2):151-158. doi:10.1080/14763141.2023.2196120.
12. Zou Z, Li J, Wang Q, Chen X. Influences of fatigue and anticipation on female soccer players' biomechanical characteristics during 180° pivot turn: implication for risk and prevention of anterior cruciate ligament injury. *Front Physiol.* 2024;15:1424092. doi:10.3389/fphys.2024.1424092.

