

**PREVENCIÓN DE LESIÓN DE LIGAMENTO  
CRUZADO ANTERIOR EN FUTBOLISTAS  
PROTOCOLO DE CAMPO E INTERVENCIONES EFICIENTES**



**JESÚS OLIVARES JABALERA**  
TESIS DOCTORAL EN BIOMEDICINA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA



Tesis Doctoral realizada con la inestimable ayuda y colaboración del grupo HumanLab, el Instituto Mixto Universitario Deporte y Salud (iMUDS) y el Football Science Institute (FSI)



**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

HUMANLAB – INSTITUTO MIXTO UNIVERSITARIO DEPORTE Y SALUD

PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOMEDICINA



TESIS DOCTORAL

**Prevención de lesión de ligamento cruzado anterior en futbolistas: protocolo de campo e intervenciones eficientes**

AUTOR

**Jesús Olivares Jabalera**

DIRECTORES

**Catedrático Dr. Víctor Manuel Soto Hermoso**

**Dr. Bernardo Requena Sánchez**

Granada, enero de 2024

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Jesús Olivares Jabalera  
ISBN: 978-84-1195-313-9  
URI: <https://hdl.handle.net/10481/92453>

El doctorando Jesús Olivares Jabalera y los directores de la tesis doctoral Víctor Manuel Soto Hermoso y Bernardo Requena Sánchez

Garantizamos, al firmar esta tesis doctoral, que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la supervisión de ambos directores de la tesis, respetando la normativa y directrices marcadas por la Universidad de Granada

Granada, 24 de enero de 2024

Directores de la tesis

Doctorando

---

*“Hay personas que quizá no han descubierto todavía la alegría de cambiar de idea”*

**Antonio Escotado**

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	10
PREÁMBULO	13
ÍNDICE DE TABLAS	16
ÍNDICE DE FIGURAS	18
ABREVIATURAS	21
RESUMEN	22
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	
<b>1.1 Determinantes de rendimiento y problemática de las lesiones en fútbol</b>	26
<i>1.1.1 Exigencias físicas y de rendimiento</i>	26
<i>1.1.2 Perfil epidemiológico</i>	29
<i>1.1.3 La preocupación por las lesiones: repercusión en el rendimiento</i>	31
<i>1.1.4 ¿Se pueden prevenir lesiones?</i>	33
<b>1.2 Lesión de ligamento cruzado anterior en fútbol</b>	35
<i>1.2.1 Magnitud del problema</i>	36
<i>1.2.2 Mecanismos de lesión y acciones predisponentes</i>	39
<i>1.2.3 Identificando factores de riesgo individuales</i>	48
<i>1.2.4 La prevención: estrategias de intervención</i>	62
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS	73
<b>2.1 Objetivo general</b>	74
<b>2.2 Objetivos específicos</b>	74
CAPÍTULO 3: CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS GENERALES	77
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
<b>Artículo 1: Sports task including landing or cutting manoeuvres used to evaluate football players from an injury-prevention perspective: a systematic review.</b>	
<b>Artículo 2: Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (soccer) players: a systematic review.</b>	

<b>Artículo 3: Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening.</b>	
<b>Artículo 4: The Safe Landing warm up technique modification programme: An effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players.</b>	
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>215</b>
<b>5.1 Conclusiones generales</b>	<b>216</b>
<b>5.2 Limitaciones relativas a las investigaciones desarrolladas</b>	<b>221</b>
<i>5.2.1 Limitaciones relativas al primer artículo</i>	<i>222</i>
<i>5.2.2 Limitaciones relativas al segundo artículo</i>	<i>222</i>
<i>5.2.3 Limitaciones relativas al tercer artículo</i>	<i>223</i>
<i>5.2.4 Limitaciones relativas al cuarto artículo</i>	<i>224</i>
<b>5.3 Aplicaciones prácticas</b>	
<b>CAPÍTULO 6: PERSPECTIVAS FUTURAS</b>	<b>228</b>
<b>6.1 Estudio de diferentes poblaciones y establecimiento de factores de riesgo</b>	<b>228</b>
<b>6.2 Baterías de test: hacia una mejor caracterización de los mecanismos</b>	<b>230</b>
<b>6.3 Aprovechamiento de nuevas tecnologías para evaluaciones más eficientes</b>	
<b>6.4 Efectos agudos, adaptaciones y retención del Safe Landing</b>	<b>231</b>
<b>CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>233</b>
<b>CURRÍCULUM VITAE</b>	<b>249</b>





## AGRADECIMIENTOS

---

*“Si quieres ir rápido camina solo; si quieres llegar lejos ve acompañado”*  
(Proverbio africano)

Para comenzar este capítulo de agradecimientos me gustaría dedicar unas palabras a Marcos Gutiérrez-Dávila por la oportunidad que me brindó haciéndome partícipe en el que fue mi primer estudio de investigación con tan solo 19 años. Gracias a él no solo adquirí los fundamentos de Biomecánica que acabarían suponiendo un punto de inflexión en mi etapa universitaria y que me siguen acompañando a día de hoy, sino que también comprendí la exigencia y el rigor metodológico que deben acompañar a cualquier trabajo científico. Horas de esfuerzo y sacrificio que, si bien me hicieron salir de mi zona de confort en aquella época aún inmadura, con los años cobraron todo el significado y me prepararon para el intenso desafío que supone emprender unos estudios de doctorado.

Agradecer también a todos aquellos profesores del grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (CCAFD) que me hicieron comprender que es la calidad del docente, y no los contenidos en sí, los que tienen el poder de hacer interesante la materia. Mikel Zabala, Luis Chiroso (Luja), o David Cárdenas que, entre otros, me enseñaron que no es necesario dedicarse al ciclismo, al balonmano o al baloncesto para aplicar todos aquellos aprendizajes que, con pasión y vocación, nos impartían en sus clases. También a mis compañeros de clase, de Almería y Granada, que no enumero porque no me gustaría dejarme a nadie, pero que saben perfectamente quiénes son.

No deben pasar inadvertidos cada uno de los compañeros del grupo de investigación HumanLab, que me acogieron como a una familia desde mi llegada y con los que a día de hoy me une también una amistad. Gabri, Ismael, Emilio, Felipe, Chicano, Santi, Jota y todos los demás compañeros que, aunque no mencione, de alguna forma acabaron apoyando y contribuyendo al proyecto de investigador en que me adentraba por aquellos años. Merece una mención especial Alejandro Molina, mi *cuasipaisano* bastetano que, de forma completamente desinteresada, me ‘apadrinó’ desde mis inicios; y a quien jamás le faltó una pizca de paciencia ni de amabilidad cuando me formaba en el manejo de tecnologías, aun cuando mis torpezas le ocasionaban algunas horas extras por el laboratorio. Serás un docente excepcional y me guardo el privilegio de haber sido el primero en comprobarlo. También a Elia Mercado, quien no escatimó ni horas ni esfuerzos en introducirme en la línea “eINJURIES”, aportándome su experiencia y las herramientas necesarias que me permitieron, una vez acabó sus estudios de doctorado, darle continuidad al proyecto de forma autónoma.

Agradecer a todos aquellos que de manera directa han hecho posible la realización de esta tesis, desde los clubes que se ofrecieron para la fase de recolección de datos, Vélez CF y Cantoria 2017 FC, y los que eran por entonces sus jugadores y cuerpos técnicos (Ortega,

Juan Carlos, Utre), hasta quienes me ayudaron en cualquier fase del proceso. Agradecer especialmente a Tom Dos'Santos por sus revisiones del inglés y sus escudriñados y certeros consejos, propios de la eminencia que es. Posees no solo la capacidad, sino la humildad que caracteriza a los mejores. Thank you so much, my friend. José Afonso, gracias a ti también por el altísimo rigor metodológico que me aportaste con tus revisiones y por tu predisposición incondicional para ayudar. Muito obrigado, o meu amigo.

Quiero destacar, como no puede ser de otra forma, a mi compañero de fatigas, a quien le pertenece por lo menos el 50% de esta tesis, y al catalizador que me bombardeó de ideas, energía y motivación cada vez que las fuerzas flaqueaban... mi inseparable Alberto Fílder. No solo me inspiraste en el diseño de mi tesis, sino que me contagiaste de tu eficazísimo modo de trabajar y me transmitiste desde los inicios de una fuerza que ni el mismísimo Badillo sería capaz de explicar. Que nunca paren estas aventuras que emprendimos con tu tesis, ni la amistad en la que se acabaron convirtiendo.

Por supuesto, agradecer a mis dos directores por guiarme durante esta aventura que hoy culmina, y sin los que nada de esto habría sido posible. A Víctor Soto por acogerme desde el primer día como a uno más de la familia, cuando aún no sabía ni lo que hacer con mi vida. A ti te debo no solo los valiosos aprendizajes de grado y máster, sino el hecho de que me abrieras las puertas de un laboratorio plagado de tecnologías del más alto nivel, dándome rienda suelta a manipularlas y a usarlas a mi antojo. Gracias por el apoyo brindado desde el primer momento, por desvivirte por encontrar becas y proyectos que me dieran ese empujón económico que necesitaba y por entristecerte como yo cuando no las conseguía. Y a Bernardo Requena, quien me inspiró sobremanera desde la primera vez que nos vimos y me aportó las bases y el valor que necesitaba para emprender una tesis en fútbol. Sin olvidar que fue el principal responsable que me abrió las puertas, junto a FSI, del hermético y difícil mundo que es el fútbol profesional, al que hoy me dedico. Me brindaste la oportunidad de cumplir mi sueño; motivo por el que siempre te estaré agradecido.

Por otro lado, no puedo olvidarme de quienes durante tantos años me han acompañado a lo largo de mi etapa universitaria. Principalmente a los que hicieron de "El Piso" mi hogar. Fernández, Juanico y Pesie, gracias por las noches interminables de FIFA y "Cicas", por la convivencia de tan maravillosos años y por las mil y una aventuras que conviene no plasmar aquí. También a Lasso y Ramón, mis incondicionales, que me hicieron conocer el significado de la palabra amistad y me convirtieron en el primer hijo único con hermanos. Nunca olvidaré el año de convivencia, en nuestro "Templo", a pesar de que por aquellos tiempos ya empezaba a sufrir las consecuencias de emprender una tesis... y vosotros lo hicisteis conmigo. Me enorgullezco de haber crecido juntos.

Un proyecto como el que culmina en una tesis no comienza con la matrícula en el doctorado, sino que lo hace desde la cuna. Empieza con aquellos cuadernillos Rubio de ortografía y libretillas repletas de sumas, restas y multiplicaciones de dos cifras que estimulaban mi incipiente cerebro. Empieza con las reprimendas que, con todo el dolor de vuestro corazón, me dabais cuando hacía algo mal para que aprendiera y no sesgara

mi vida desde pequeño; esas reprimendas de padres responsables que quieren lo mejor para su hijo... y que cobran todo el significado con el paso de los años. Empieza también con el apoyo, el consejo, el cariño y la comprensión en cada decisión que había de tomar, de mayor importancia a medida que iba creciendo. Padre y madre, papi y mami, vosotros sois los principales responsables de los pequeños logros que voy consiguiendo; la brújula que, desde el inicio, me orientó en esta jungla que es la vida. Me enseñasteis que todo lo que merece la pena en esta vida requiere un esfuerzo, y que si bien el resultado final no se controla, la actitud tampoco se negocia. Una vida se queda corta para agradeceros todo lo que habéis hecho por mí durante estos 28 años.

Y no podían faltar unas palabras de agradecimiento para ti, Yedra, mi Novia, mi compañera de vida... Apareciste cuando ya estaba perdiendo la motivación por lo que estaba estudiando y estoy convencido de que contribuiste de alguna manera a reavivarla. Tienes el maravilloso don de saber aportarme lo que necesito en cada momento: el empujoncito justo cuando pierdo inercia, el abrazo cálido cuando el frío me invade. No son pocos los momentos de estrés, ansiedad, frustración y cambios de humor que me han abordado a lo largo de estos cuatro años y que a menudo te acababan salpicando. Sin embargo, con el carácter comprensivo que te distingue, jamás te ha faltado una sonrisa para mitigarlos. Igual te despiertas a las siete de la mañana para venir a ayudarme con la toma de datos en Cantoria que me escuchas, interesada, contarte los intrincados de mi tesis una y otra vez, hasta el punto de aprendértela de memoria. Eres de las personas que suman, que te aúpan, que te hacen siempre ver el vaso medio lleno, que te ayudan a emerger cuando te hundes: de esas personas que todos queremos que formen parte de nuestro pequeño mundo. Gracias por prender siempre una luz para iluminar mis días más oscuros. Te amo a ti, y a la vida que nos espera.

*Gracias, a todos, por ayudarme a superar las piedras del camino.*

## PREÁMBULO

---

Mi entrada en la carrera no cumplió con las expectativas y la ilusión por continuarla siguió mermándose durante meses. Fue en el segundo cuatrimestre de mi primer curso en Granada cuando volví a encontrar la motivación con la matriculación en la asignatura de Biomecánica Deportiva. Impartida por el catedrático D. Marcos Gutiérrez, descubrí que esta ciencia que consistía en la aplicación de las leyes de la mecánica a la estructura y el movimiento humano escondía muchas de las claves del rendimiento deportivo, perfilándose como factor determinante de prácticamente cualquier modalidad. Entendí el importante rol que además ocupaba en la lesión y sus desencadenantes; un tema que siempre me causó especial interés. Aquel cuatrimestre acabé desarrollando, aunque de forma muy pasiva y direccionada dada mi inexperiencia, mi primera investigación científica gracias a la oportunidad que Marcos me brindó. Aquel trabajo culminó en mi primera comunicación en un congreso: el de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales celebrado en el año 2016 en León. Ahí fue cuando conocí al también catedrático D. Víctor Manuel Soto, quien sin saber mucho sobre mí me propuso incorporarme a su grupo de investigación, el HumanLab, para integrarme en una línea de investigación enmarcada en lesiones deportivas que quería lanzar. Aquellos meses y los que se sucedieron me mostraron la disciplina, la capacidad de sacrificio y el esfuerzo que requería la investigación, pero además la enorme satisfacción a la que conducía: la de aportar una gotita de conocimiento en el inmenso océano de la literatura científica. Un árbol de raíz amarga pero de frutos dulces.

Tras años de aprendizaje por el laboratorio guiado por Víctor y el increíble equipo que dirigía tuve la suerte de conocer a D. Bernardo Requena, quien junto a Víctor me animó a aventurarme en el mundo del fútbol – mi deporte desde pequeño – y a enfocar mi tesis en un tema que me apasionaba y sobre el que estaba ansioso por indagar: la prevención de lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) en fútbol. Así, con la mayor de las ilusiones, a finales del año 2019 me matriculé en el programa de doctorado de Biomedicina de la UGR para desarrollar la que acabaría siendo mi futura tesis doctoral.

A lo largo del proceso se fueron sucediendo una serie de eventos que condicionaron irremediabilmente el transcurso de la tesis. En este sentido, cabe destacar la crisis pandémica sufrida entre los años 2020 y 2021: la que ya es por todos conocida como COVID-19. Tan solo unos meses después – cuatro, concretamente – de formalizar la primera matrícula en el programa de doctorado y con la idea de tesis ya definida, en el mes de marzo de 2020 se decretó un estado de alarma sin precedentes que, junto a los efectos ocasionados por la pandemia, puso en jaque a la sociedad, del que no quedó exento el sector educativo. Entre algunas de las radicales medidas que se llevaron a cabo en consecuencia destacó la anulación de la presencialidad en las Universidades, lo que llevó a promover y desarrollar estrategias de aprendizaje y evaluaciones alternativas (en línea) que se prolongaron durante todo el curso académico que ese año comenzaba.

Una presencialidad limitada que no fue hasta bien adentrado el año 2021, e incluso inicios del 2022, cuando retornó definitivamente a la normalidad y que supuso, entre otras medidas, el acceso altamente restringido a laboratorios y centros de investigación. Al mismo tiempo, se paralizaron completamente las competiciones deportivas de todo tipo, donde el fútbol semiprofesional fue uno de los más perjudicados. En este contexto, las federaciones se vieron obligadas a tomar decisiones salomónicas como, por ejemplo, dar por finalizada la temporada 2020/21 sin poder disputar muchos de los partidos que restaban por jugar. Por tanto, además de las conocidas limitaciones para la población general que fueron impuestas por causa de la COVID-19, las mencionadas específicamente respecto a la universidad y competiciones deportivas acabaron por condicionar inevitablemente el desarrollo de la presente tesis, retrasando de manera considerable las actividades previstas en el cronograma inicial.

Pronto comprendí que desarrollar una tesis no consiste única y exclusivamente en publicar artículos, compilarlos y defenderlos ante un tribunal, sino que requiere horas y horas de lectura, lectura y más lectura. Más allá de las dificultades externas afrontadas, este continuo proceso de indagación y aprendizaje acabó determinando el transcurso de la misma, en la medida en que ha ido modulando constantemente mi línea de pensamiento. Una de las ideas que pronto deseché fue la de realizar un estudio prospectivo de cohorte que permitiera evaluar la capacidad de una batería de campo para identificar futbolistas en riesgo de lesión de LCA. La idea era crear un Big Data sobre el cual aplicar, con posterioridad, diferentes herramientas de inteligencia artificial con las que dilucidar las variables explicativas clave para la identificación de riesgos, así como detectar cuáles podrían en cierta medida ayudar a predecir la ocurrencia de lesiones de LCA.

Este era un proyecto que nunca constó entre los objetivos específicos de la tesis, pero que me planteaba iniciar mediante potenciales investigaciones posdoctorales. Proyecto que, sin embargo, no pretendo abordar a corto plazo por dos motivos: primero, por requerir, como se detallará en la introducción, o bien una población de futbolistas lo suficientemente amplia, o bien una más reducida seguida durante un largo periodo de tiempo para obtener la muestra necesaria que permita analizar e inferir los hallazgos pretendidos de forma estadísticamente apropiada.

En el año 2021, cuando mi doctorado se encontraba aproximadamente en su ecuador, comencé a trabajar como preparador físico, dando el salto tan solo unos meses después al fútbol profesional. Este supuso otro importante punto de inflexión: por un lado, porque redujo drásticamente mi disponibilidad temporal para dedicarle a los trabajos de doctorado. Por otro, porque me aportó una visión práctica que a menudo no se considera en el planteamiento de hipótesis en el ámbito de investigación. La idiosincrasia del jugador de fútbol y la cultura que impregna el deporte establecen un contexto en el que muy raramente se puede aplicar aquello que idealmente se propone en la literatura. Este descubrimiento es el que nos conduce a preparadores físicos con conocimiento teórico pero sin experiencia a una suerte de nihilismo en el que nos vemos incapaces de aplicar aquello que, con tanto esfuerzo, hemos aprendido en nuestra etapa formativa.

Esta experiencia práctica, además, me ha ido trazando una visión ciertamente desoladora en referencia a la lesión de LCA, en la medida en que he vivenciado cómo, a menudo, las prácticas y rutinas de prevención religiosamente ejecutadas por aquellos jugadores más cuidadosos y preocupados por su preparación física no han servido para protegerles de las consecuencias de tan devastadora lesión. Esto no implica que estos cuidados fueran completamente infructuosos –la insuficiente muestra a la que he tenido acceso no permite tomar grandes conclusiones al respecto– pero en cierta medida sí sugiere que, a pesar de los años de investigación y los esfuerzos dirigidos a la prevención, aún estamos lejos de encontrar la solución al problema... si es que la tiene.

En la predisposición tan humana y peliaguda por establecer causalidades de todos los eventos que acontecen en la vida, nos creemos estar en posesión de las verdades y certidumbres concernientes a los mecanismos y los factores de riesgo de lesión de LCA. Sin embargo, este conocimiento no ha servido para reducir su incidencia, teniendo la sensación de que por momentos incluso se dispara, como se está viendo en la temporada que está en juego. Desde mi punto de vista, actualmente no sabemos contestar a la pregunta de por qué un futbolista se rompe el LCA, siendo difícil prevenir una lesión de la que aún se desconoce tanto. O por el contrario sí se conoce, pero es esta costumbre tendenciosa a querer explicarlo todo la que nos impide reconocer que, quizás, es algo que no está a nuestro alcance. A pesar de ello, con la presente tesis se pretendió aportar herramientas que ayudaran a reducir aquel riesgo que pudiera ser modificable mediante un raciocinio compatible con las leyes de la Fisiología, la Biomecánica y el Aprendizaje Motor y un enfoque riguroso a nivel metodológico. Eso sí: siempre teniendo en cuenta las peculiaridades del contexto real en el que han de aplicarse, para lo que intenté nutrirme de la experiencia práctica que fui acumulando de forma paralela.

A pesar de todas las dificultades, experiencias y aprendizajes que se han ido sucediendo a lo largo del proceso me considero orgulloso del trabajo finalmente realizado. Siendo consciente de que los hallazgos encontrados no revolucionan el paradigma de investigación y de que los trabajos desarrollados presentan aspectos que son con seguridad ampliamente mejorables, el camino que se ha ido construyendo durante estos cuatro años sí que ha transformado inapelablemente mi pensamiento, mi filosofía y mi visión de la problemática de las lesiones en el fútbol. Al mismo tiempo, me ha exigido la adquisición de competencias, habilidades y aprendizajes transversales a otras áreas de conocimiento que, a buen recaudo, me serán de utilidad en mi futuro tanto personal como profesional. Como decía el filósofo estadounidense John Dewey, “aprender no es prepararse para la vida; aprender es la vida misma”. En este sentido, estos cuatro años de esfuerzo poseen un valor incalculable y, como resultado, queda plasmada la tesis doctoral que se expone a continuación.

## ÍNDICE DE TABLAS

---

### **Tablas incluidas en el manuscrito, exceptuando las de los diferentes artículos.**

**Tabla 1.** Incidencia, severidad y carga de lesional de las lesiones que más días de baja por lesión provocan en fútbol (Pulici et al., 2023).

**Tabla 2.** Herramienta Landing Error Scoring System para el análisis cualitativo de drop jumps.

**Tabla 3.** Herramienta Cutting Movement Assessment Score para el análisis cualitativo de cambios de dirección entre 30 y 90 grados. CI: contacto inicial.

**Tabla 4.** Resumen de la metodología principal utilizada en cada uno de los artículos incluidos en la tesis. NA, no aplicable; DVJ, drop vertical jump; CDD70, cambio de dirección de 70 grados; LESS, Landing Error Scoring System; CMAS, Cutting Movement Assessment Score; CCI, coeficiente de correlación intraclase; CV, coeficiente de variación; TE, tamaño del efecto; ITT, análisis por intención de tratar (del inglés, intention-to-treat analysis); EEM, error estándar de la media; ANCOVA, análisis de la covariable.

### **Tablas incluidas en los artículos.**

#### *Artículo 1*

**Table 1.** Characteristics of the sports tasks including a jump-landing manoeuvre.

**Table 2.** Characteristics of the sports tasks including a cutting manoeuvre.

#### *Artículo 2*

**Table 1.** Criteria for inclusion according to the PICOS method.

**Table 2.** Characteristics of the randomized-controlled trials included in the systematic review.

**Table 3.** Characteristics of the non-randomized studies included in the systematic review.

**Table 4.** Characteristics of the single-arm studies included in the systematic review.

**Table 5.** Summary of evidence regarding the efficacy of exercise-based interventions on ACL injury incidence and risk factors of ACL injury coming from randomized-controlled trials and nonrandomized studies.

**Table 6.** Summary of considerations and recommendations for future research.

#### *Artículo 3*

**Table 1.** Inter- and intra-observer reliability of individual items for the CMAS tool.

**Table 2.** Inter- and intra-observer reliability of individual items for the LESS tool. IC = initial contact.

**Table 3.** Intra-observer reliability of CMAS and LESS (1st and 2nd landing) scores (trial 2 vs trial 3).

**Table 4.** Relationship between CMAS and LESS (1st and 2nd landing) scores.

**Table 5.** Percentage of agreements and Kappa coefficients between risk categories (high, moderate, low) for the CMAS and LESS screening tools.

**Table 6.** Summary of the practical applications from the present study



**Table S1.** Frequency and percentages of players scoring 1 or 2 (presence of risk factor) in the individual items of LESS scores in first and second landings. IC = initial contact.

*Artículo 4*

**Table 1.** Verbal cues given to the players to promote safe mechanics while maximising performance.

**Table 2.** Reliability of the selected variables at pre-test for CG and IG.

**Table 3.** Reliability of the selected variables at post-test for CG and IG.

**Table 4.** Pre-to-post changes in both CG and IG.

**Table S1.** 6-week training modification program: Safe Landing.

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

### **Figuras incluidas en el manuscrito, exceptuando las de los diferentes artículos.**

**Figura 1.** Localización del fútbol en función de la importancia relativa, frente a otros deportes, de las cualidades físicas de fuerza, velocidad (eje y) y resistencia (eje x). También se muestra la contribución relativa de los componentes físico (25%), técnico (45%) y táctico (30%) al rendimiento del jugador en un análisis simplificado que no considera importantes factores psicológicos o de “química” de equipo. Extraído de (Buchheit et al., 2018), adaptado de (Nader, 2006).

**Figura 2.** Categorización de los grupos en función del potencial efecto de la intervención en la prevención de la lesión.

**Figura 3.** Principales ligamentos de una rodilla sana (izquierda) y otra con una rotura de ligamento cruzado anterior (derecho).

**Figura 4.** Ejemplo de análisis observacional cualitativo de mecanismos de lesión de ligamento cruzado anterior. A la izquierda, se analiza una lesión causada en una situación de presión, sin contacto: (A) aproximación al oponente, (B) contacto inicial, (C) fotograma de la lesión, y (D) pérdida de equilibrio. A la derecha, otra causada por una entrada realizada, con contacto directo: (E) aproximación al oponente, (F) contacto inicial y entrada, (G) fotograma de la lesión, y (H) pérdida de equilibrio. Extraído de (Della Villa et al., 2020).

**Figura 5.** En A y B, el defensor se encuentra leyendo el lenguaje corporal del oponente con el objetivo de anticiparse al movimiento, mientras que el atacante realiza una finta. En C y D, en respuesta a la finta realizada por el atacante, el defensor se ve obligado a realizar un rápido cambio de dirección de derecha a izquierda, lo que desemboca en la rotura de LCA (D) (Gokeler et al., 2021)

**Figura 6.** Mecanismo de lesión de ligamento cruzado anterior sin contacto frecuentemente observado en situaciones de presión. Extraído de (Della Villa et al., 2020).

**Figura 7.** Tres casos de lesión indirecta de ligamento cruzado anterior con reducción posterior tibial identificable. Los fotogramas en rojo (1D, 2D y 3D) representan el momento de máxima traslación anterior tibial, mientras que los rodeados en azul (1F, 2F y 3F) indican el final estimado del mecanismo de RPT. Extraído de (Grassi et al., 2017).

**Figura 8.** Modelo dinámico y multifactorial de lesiones propuesto por (Meeuwise, 1994) y adaptado por (Bahr & Holme, 2003).

**Figura 9.** Proceso de tres pasos para validar un test de screening. Adaptado de (Bahr, 2016).

**Figura 10.** Medición de la inclinación de la meseta tibial en su compartimento lateral (ángulo comprendido entre líneas B y C). Extraído de (Cordinalesi, 2018).

**Figura 11.** Ejemplo que muestra cómo valores aparentemente positivos de asimetría, cuando se analizan de forma aislada, pueden encubrir déficits de fuerza que deberían ser resueltos (gráfica de la izquierda, 2%). También se plantea la cuestión de la relevancia que pueden tener valores relativamente altos de asimetría cuando los valores absolutos de fuerza son altos (gráfica de la derecha, 8%).

**Figura 12.** Modelo determinista de variables que incrementan el momento de abducción de rodilla durante cambios de dirección entre 30 y 100 grados. Extraído de (Donelon et al., 2020).

**Figura 13.** Brazo de palanca de diferentes músculos con acción sobre la rodilla en los planos frontal (eje x) y transversal (eje y). Los círculos representan el brazo de palanca de cada músculo en 30 grados de

flexión de rodilla; el tamaño del círculo es proporcional a la sección de área transversal del músculo. Las líneas representan los cambios en los brazos de palanca a lo largo de la flexión completa de rodilla (0 a 120 grados). Extraído de (Maniar et al., 2022).

**Figura 14.** Programa FIFA 11+ para la prevención de lesiones en fútbol.

**Figura 15.** Para mejorar la predisposición e incrementar la adherencia del deportista frente a un programa de prevención, se proponen los escenarios C (ideal) o B, donde la reducción del riesgo de lesión se produce en detrimento del rendimiento. De hacerlo (escenario A), su implementación será difícil, cuando no indeseable.

**Figura 16.** Jugador realizando el test de drop jump como participante del primer estudio transversal. En la imagen se puede observar el soporte que, anclado a la portería, sirvió para suspender el balón externalizando el foco de atención del futbolista en el salto.

**Figura 17.** Jugador realizando el test de cambio de dirección como participante del primer estudio transversal.

**Figura 18.** Configuración y disposición del equipamiento para la realización de los test de drop jump (A) y cambio de dirección (B).

**Figura 19.** Equipamiento utilizado para el desarrollo de la batería de test propuesta.

**Figura 20.** Ejemplos de la mejora de la calidad de movimiento que el *Safe Landing* produjo en el test de cambio de dirección. Se observa cómo los jugadores lo ejecutan usando una mejor orientación del tronco hacia la nueva dirección de desplazamiento (arriba y abajo), al mismo tiempo que reduciendo el valgo de rodilla en la fase de apoyo con el suelo (arriba).

**Figura 21.** Ejemplos de la mejora de la calidad de movimiento que el *Safe Landing* produjo en el test de drop jump. Se observa cómo los jugadores lo ejecutan con una mejor alineación cadera, rodilla, tobillo y pie en el plano frontal (arriba), así como mediante una mayor absorción del impacto (abajo).

**Figura 22.** Sistema OpenCap para el análisis de la biomecánica del movimiento. Extraído de (Uhrich et al., 2022).

## **Figuras incluidas en los artículos.**

### *Artículo 1*

**Figure 1.** Flow chart showing the different phases of the search and study selection process.

### *Artículo 2*

**Figure 1.** PRISMA flow diagram for the depiction of the overall process.

**Figure A1.** Risk of bias graph of the randomized-controlled trials (RCT) (i.e. Cochrane's RoB 2).

**Figure A2.** Risk of bias graph of the nonrandomized studies (NRCT) (i.e. Cochrane's ROBINS-I).

### *Artículo 3*

**Figure 1.** Experimental set-up for both the A) 70° change of direction, and B) drop vertical jump.

**Figure 2.** Scatter plot showing CMAS and LESS mean 1st scores relationship, divided into four quadrants (two risk profiles: high and low).

**Figure 3.** Scatter plot showing LESS 1st and LESS 2nd mean scores relationship, divided into four quadrants (two risk profiles: high and low).

#### *Artículo 4*

**Figure 1.** Study design and flow diagram of the participation of the players at all the stages.

**Figure 2.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the GCT of the COD for both ND and D.

**Figure 3.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the CMAS for both ND and D.

**Figure 4.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the LESS1 for both ND and D.

**Figure S1.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the GCT ASY of the COD.

**Figure S2.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the JH and RSI of the DVJ.

**Figure S3.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the LESS2 for both ND and D.

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ANCOVA</b>	Análisis de la covarianza
<b>CDD</b>	Cambio de dirección
<b>CDM</b>	Centro de masas
<b>CMAS</b>	Cutting Movement Assessment Score
<b>CI</b>	Contacto inicial
<b>CR</b>	Conocimiento de resultados
<b>DVJ</b>	Drop jump vertical
<b>ECA</b>	Ensayo controlado aleatorizado
<b>EMG</b>	Electromiografía
<b>FE</b>	Foco externo
<b>FI</b>	Foco interno
<b>FR</b>	Factor de riesgo
<b>FRS</b>	Fuerzas de reacción del suelo
<b>GC</b>	Grupo control
<b>GE</b>	Grupo experimental
<b>HE</b>	Horas de exposición
<b>IL</b>	Incidencia de lesión
<b>ITT</b>	Intención de tratar
<b>LCA</b>	Ligamento cruzado anterior
<b>LESS</b>	Landing Error System Score
<b>MAR</b>	Momento de abducción de rodilla
<b>MCR</b>	Mínimo cambio relevante
<b>ML</b>	Momento de lesión
<b>PRISMA</b>	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
<b>RE</b>	Rotación externa
<b>RI</b>	Rotación interna
<b>SNP</b>	Polimorfismo de nucleótido único
<b>RPT</b>	Reducción posterior tibial
<b>VAC</b>	Vuelta a competición

## RESUMEN

---

La lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las que mayor preocupación genera. A nivel de club, porque supone perder un jugador para el resto de temporada, con sus correspondientes implicaciones económicas y de rendimiento. A nivel de jugador, por sus devastadores consecuencias, como el riesgo acrecentado de sufrir una segunda lesión, de no volver a competir al nivel previo o de sufrir osteoartritis temprana. La lesión de LCA ocurre principalmente en mecanismos de no contacto o contacto indirecto con la pierna lesionada (80%), comúnmente al realizar maniobras de cambio de dirección (CDD) o aterrizaje de salto en situaciones defensivas, con incertidumbre. Se han asociado muchos factores de riesgo a la lesión de LCA, aunque ninguno de forma contundente por las limitaciones metodológicas de los diseños de investigación utilizados. Se han propuesto multitud de programas de intervención para su prevención, si bien pocos han considerado el contexto característico del fútbol, lo que se ha traducido en una muy baja implementación de dichos programas.

El objetivo general de la tesis fue diseñar un protocolo integral de campo dirigido a evaluar los factores de riesgo de lesión de LCA en futbolistas, así como a mitigarlos mediante estrategias preventivas fácilmente aplicables, considerando las frecuentes limitaciones de equipamiento, espacio y tiempo presentes en el contexto de un equipo de fútbol. El objetivo se abordó mediante cuatro artículos, tres de ellos publicados (artículos 2, 3 y 4) en revistas indexadas en el *Journal of Scitation Reports*.

**Artículo 1.** Mediante esta revisión sistemática se pretendió encontrar todas aquellos test que, mediante maniobras de aterrizaje y CDD, trataran de evaluar los riesgos de jugadores de fútbol de sufrir una lesión de LCA. Se halló que existen una gran variedad de test con dicho propósito tanto para aterrizajes (i.e. saltos con y sin contramovimiento, drop landings, drop jumps (DVJ), saltos con carrera de aproximación, saltos horizontales y consecutivos) como para CDD (i.e. de angulación leve, moderada y agresiva), aunque pocos se han asociado apropiadamente a la lesión de LCA y donde raramente se han ofrecido los niveles de fiabilidad de las métricas evaluadas.

**Artículo 2.** El objetivo de la segunda revisión sistemática fue el de recopilar todas aquellas intervenciones basadas en ejercicio físico, de más de 4 semanas, diseñadas para reducir la incidencia o los riesgos de lesión de LCA en futbolistas adultos. Se encontró que algunos programas de calentamiento, como el “FIFA 11+” o el “PEP Program” se han mostrado eficaces para la reducción de la incidencia, aunque los mecanismos mediante los que lo consiguen no están claros. Otras intervenciones basadas en modificación técnica, trabajo lumbopélvico y equilibrio mostraron efectos prometedores, con programas de entrenamiento resistido revelándose eficaces, aunque difícilmente implementables en el contexto de un equipo de fútbol. Destaca la escasez de intervenciones que fueron evaluadas por su capacidad para reducir los riesgos asociados a los principales mecanismos de lesión de LCA, así como la escasa, cuando no ausente descripción de los programas y test utilizados (i.e. niveles de fiabilidad y supervisores de

la intervención no reportados, poca claridad en los métodos o enfoques estadísticos inapropiados).

**Artículo 3.** En este artículo transversal se evaluó a 42 futbolistas semiprofesionales con el objetivo de determinar si las escalas Landing Error Scoring System (LESS) y Cutting Movement Assessment Score (CMAS) para valorar la calidad de movimiento de DVJ y CDD, respectivamente, son fiables en este cohorte de futbolistas, además de dilucidar si aportan un perfil de riesgo compartido. Los resultados demostraron que ambas poseen niveles de moderados a sustanciales de fiabilidad interobservador ( $ICC = 0.58-0.71$ ) y de sustanciales a casi perfectos de fiabilidad intraobservador ( $ICC = 0.68-0.87$ ). Además, no se encontró relación alguna entre el perfil de riesgo obtenido para una y otra escala, lo que sugiere que el riesgo para sufrir una lesión de LCA es dependiente de la tarea. El segundo aterrizaje del DVJ manifestó peores niveles de calidad de movimiento que el primero ( $ES = 0.80-0.83$ ) justificando así el uso de ambos, junto al CMAS, para una panorámica más detallada del perfil de riesgo del jugador.

**Artículo 4.** En el último artículo se evaluó la capacidad del *Safe Landing*, un programa de intervención basado en aterrizajes, pliometría y CDD con un énfasis en la corrección técnica, llevado a cabo durante 6 semanas, 3 veces por semana e incluido como parte del calentamiento para mejorar la calidad de movimiento del DVJ y el CDD, evaluadas mediante las escalas LESS y CMAS. El grupo experimental (GE,  $n = 15$ ) mostró mejoras de magnitudes moderadas a grandes en ambos aterrizajes del DVJ (LESS1 y LESS2) y en el CMAS ( $p < 0.082$ ,  $\eta^2 = 0.137-0.272$ ) respecto del grupo control (GC,  $n = 11$ ), sin una merma en el rendimiento en dichas maniobras, que se mantuvo estable antes y después de la intervención ( $p > 0.05$ ,  $ES = 0.039-0.420$ ). Dado el escaso equipamiento (i.e. conos y balones) y el poco tiempo necesario para su implementación (~ 9 minutos / sesión), el *Safe Landing* se propone como una intervención efectiva y fácilmente implementable (con una adherencia superior al 93%) para mejorar la calidad de movimiento de jugadores de fútbol semiprofesionales.

Asimismo, mediante la presente tesis doctoral se proporcionaron herramientas válidas y fiables para la identificación de riesgos de lesión de LCA en sus principales mecanismos predisponentes a profesionales médicos y de rendimiento, así como estrategias eficientes para la reducción efectiva de dichos riesgos. Un proceso que se abordó intentando mantener un equilibrio entre la rigurosidad metodológica que exige el método científico y la realidad contextual que caracteriza a equipos de fútbol.

**Palabras clave:** prevención de lesiones, ligamento cruzado anterior, intervenciones eficientes, baterías de campo.

## ABSTRACT

---

The anterior cruciate ligament (ACL) injury is one of the most concerning. At the club level, because it leads to lose a player for the rest of the season, with its corresponding economic and performance implications. At the player level, due to its devastating consequences, such as the increased risk of suffering a second injury, not being able to compete at the previous level, or suffering early osteoarthritis. ACL injuries mainly occur in non-contact or indirect contact mechanisms with the injured leg (80%), commonly when performing either change of direction (COD) manoeuvres or landings from a jump in defensive situations, under uncertainty. Many risk factors have been related to ACL injury, although usually through weak associations due to the methodological limitations of the research designs traditionally used. Numerous intervention programs have been proposed for its prevention, although few have considered the characteristic context of football, resulting in very low implementation levels of such programs.

The general aim of the thesis was to develop a comprehensive protocol to both evaluating the risk factors of ACL injuries of football players, as well as mitigating them through easily implementable preventative programs. For that purpose, the equipment, space and time restrictions frequently observed in football teams was always considered. To achieve the aim four scientific articles were carried out, of which 3 were published (articles 2, 3 and 4) in journals indexed in the *Journal of Citation Reports*.

**Article 1.** Through this systematic review, we aimed to find all those tests that were developed to assess the risks of football players suffering an ACL injury through either landing or cutting manoeuvres. It was found that there is a wide variety of tests for this purpose both for landings (i.e. jumps with and without countermovement, drop landings, drop jumps (DVJ), running approach jumps, horizontal and consecutive jumps) and cuttings (i.e. of shallow, moderate, and sharp angulations), although very few have been appropriately associated with ACL injury, and where the levels of reliability of the metrics evaluated have rarely been offered.

**Article 2.** The aim of the second systematic review was to compile all those exercise-based interventions, lasting more than 4 weeks, that were designed to reduce the incidence or risks of ACL injury in adult footballers. It was found that some warm-up programs, such as “FIFA 11+” or the “PEP Program” were effective in reducing the incidence, although the mechanisms by which they achieved this reduction are not clear. Other interventions based on technical modification, lumbopelvic strengthening, and balance showed promising effects, with resistance training programs proving effective, although difficult to implement in a football team context. Noteworthy is the scarcity of interventions evaluated for their ability to reduce the risks associated with the main ACL injury mechanisms, as well as the scarce and/or poor description of the programs and tests used (i.e., levels of reliability and supervisors of the intervention not reported, lack of clarity in the methods or inappropriate statistical approaches).



**Article 3.** In this cross-sectional article, 42 semi-professional footballers were evaluated to determine if the Landing Error Scoring System (LESS) and Cutting Movement Assessment Score (CMAS) scales are reliable for assessing the quality of movement in DVJ and COD, respectively, as well as to elucidate whether they provide a shared ACL risk profile of the players. The results showed that they possess moderate to substantial levels of intra-observer reliability (ICC = 0.58-0.71), and substantial to almost perfect inter-observer reliability (ICC = 0.68-0.87). In addition, no relationship was found between the risk profile obtained for one scale and the other, suggesting that the risk of suffering an ACL injury is task-dependent. The second landing of the DVJ (LESS2) displayed a riskier pattern than the first (LESS1) ( $ES = 0.80-0.83$ ) justifying the use of both, along with the CMAS, for a more detailed overview of the player's risk profile.

**Article 4.** In the last article, the capability of the *Safe Landing*, a technique-modification intervention based on landings, plyometrics, and COD exercises, to improve the movement quality of DVJ and COD was evaluated through the LESS and CMAS scales. It was carried out for 6 weeks, 3 times a week, and included as part of the warm-up. The experimental group (EG,  $n = 15$ ) showed moderate to large improvements in both landings of the DVJ (LESS1 and LESS2) and in the CMAS ( $p < 0.082$ ,  $\eta^2 = 0.137-0.272$ ) compared to the control group (CG,  $n = 11$ ), without a decline in performance in such manoeuvres, which remained stable pre- to post-intervention ( $p > 0.05$ ,  $ES = 0.039-0.420$ ). Given the little equipment (i.e., cones and balls), and the short time required for its implementation (~9 minutes/session), the *Safe Landing* is proposed as an effective and easily implementable intervention (with compliance levels above 93%) to improve the movement quality of semi-professional football players.

By this way, through this doctoral thesis, practitioners working in medical and performance staffs were provided by valid and reliable screening tools for the identification of their football players' injury risk in the main mechanisms predisposing to ACL injury, as well as by efficient strategies for the effective reduction of these risks. To properly address the process, the approach was based on an attempt to keep a balance between the methodological rigor required by the scientific method and the reality that characterises the football's context.

**Keywords:** injury prevention, anterior cruciate ligament, efficient interventions, field tests.



---

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

---

## **1.1 Determinantes de rendimiento y problemática de las lesiones en fútbol**

### ***1.1.1 Exigencias físicas y de rendimiento***

El fútbol es el deporte más popular del mundo, con más de 260 millones de practicantes a lo largo de los cinco continentes. Esto supone que entorno al 4% de la población mundial (1 de cada 25 personas) realiza esta práctica deportiva. Con un incremento particularmente destacado en el fútbol femenino, que asciende al 54% respecto al informe previo, hasta situarse en 4.1 millones de jugadoras federadas, la práctica del fútbol no solo a nivel competitivo, sino recreativo sigue ganando popularidad a lo largo de los años gracias, entre otros, a los evidenciados beneficiosos efectos en la salud (FIFA, 2007)

En las principales ligas europeas, la temporada de fútbol comienza generalmente en agosto y termina en mayo del año siguiente, precedida por unas 6 semanas de pretemporada. En un periodo que normalmente comprende en torno a 40 semanas de competición, en el fútbol moderno un equipo profesional puede llegar a disputar desde 39 hasta un total de 80 partidos por temporada. Asimismo, considerando las competiciones nacionales e internacionales, ocurre con frecuencia que algunos de los jugadores se han de exponer a periodos de hasta 10 semanas de congestión de partidos en los que tienen que jugar entre 2 y 3 partidos por microciclo, lo cual supone competir cada 3 días (Page et al., 2023). Si bien es cierto que en el fútbol semiprofesional las exigencias a este respecto son menores por el menor número de competiciones a disputar, un equipo que compita, por ejemplo, en la Segunda División RFEF (cuarta división española), podría afrontar también hasta 46 partidos por temporada. De este modo, el futbolista semiprofesional tampoco está exento de ser expuesto, puntualmente, a periodos de mayor congestión de partidos, con sus consecuentes implicaciones en la gestión del rendimiento y la prevención de lesiones (Folgado et al., 2015; Pillay et al., 2022).

Las exigencias del fútbol como actividad deportiva requieren de un apropiado desarrollo de determinadas capacidades físicas y fisiológicas donde, sin embargo, son la habilidad técnica y el conocimiento táctico del juego los dos principales determinantes del rendimiento (Buchheit et al., 2018). De hecho, la naturaleza propia de la competición, donde multitud de factores contextuales interactúan simultáneamente, a menudo impide que aquellos jugadores mejor capacitados desde el punto de vista físico puedan expresar su máximo potencial. Por lo tanto, existe cierto consenso en considerar que el futbolista de élite no debe poseer unos niveles de capacidad física extraordinarios, sino que estos han de ser lo suficientemente altos para tolerar las exigencias del juego y poder desarrollar, sin interferencias derivadas de procesos de fatiga, la habilidad técnico-táctica que requiere cada momento de la competición durante los 90 minutos (o, potencialmente 120) de partido (Figura 1) (Buchheit et al., 2018).



**Figura 1.** Localización del fútbol en función de la importancia relativa, frente a otros deportes, de las cualidades físicas de fuerza, velocidad (eje y) y resistencia (eje x). También se muestra la contribución relativa de los componentes físico (25%), técnico (45%) y táctico (30%) al rendimiento del jugador en un análisis simplificado que no considera importantes factores psicológicos o de “química” de equipo. Extraído de (Buchheit et al., 2018), adaptado de (Nader, 2006).

Corroborando esta idea se hallan los valores promedio de capacidad física del jugador de fútbol respecto a otro tipo de deportistas. A modo de ejemplo, sus niveles de fuerza tanto para miembros superiores como inferiores, resistencia cardiorrespiratoria o velocidad han mostrado ser notablemente inferiores a los de jugadores de rugby (Argus et al., 2012), fútbol australiano (Buchheit et al., 2018), o sprinters (Morin et al., 2012), respectivamente. De este modo, y reforzando la idea mencionada previamente, si bien no parece condición indispensable destacar en ninguno de estos parámetros para alcanzar un alto rendimiento en fútbol, sí resulta necesario alcanzar unos niveles mínimos en todos ellos atendiendo a las demandas de juego.

Abordando estas demandas, un jugador de fútbol, en promedio (y teniendo en cuenta que los requerimientos difieren entre posiciones) recorre entre 9 y 14 km, de los cuales entorno al 22-24% se realizan a una velocidad por encima de 15 km/h, entre el 8-9% por encima de 20 km/h y un 2-3% sobre 25 km/h (Dolci et al., 2020; Stølen et al., 2005). Además, el fútbol también se caracteriza por su alta exigencia en acciones de alta intensidad y corta duración. De hecho, un futbolista puede realizar más de 40 esfuerzos por encima de 21 km/h, de unos 3.1 segundos de duración y 20.3 m de distancia, así como 700 cambios de dirección, más de 650 aceleraciones, 610 desaceleraciones o entre 1200-1400 cambios de actividad por partido. A pesar de que el ratio promedio de trabajo-descanso registrado en un partido es entorno a 1:12, el cual parece suficiente para la correcta recuperación entre esfuerzos, en los periodos de máxima exigencia este ratio puede bajar a la orden de 1:2.

En lo que a requerimientos energéticos se refiere, las altas distancias a recorrer unidas a la necesidad de una rápida recuperación entre esfuerzos de alta intensidad posicionan al

sistema aeróbico como un importante proveedor de energía en fútbol, estimándose que del total utilizada durante su práctica, entorno a un 90% proviene de esta vía (Dolci et al., 2020; Stølen et al., 2005). Las altas temperaturas abdominales (39-40 °C) y frecuencias cardíacas promedio registradas (80-90% de la frecuencia cardíaca máxima) en partidos de fútbol lo ponen de manifiesto. No obstante, por otro lado, no se debe menospreciar la contribución energética proveniente de la glucólisis y el sistema de los fosfágenos, dada la inmensa cantidad de acciones que, por su alta intensidad y corta duración, requieren de un mecanismo rápido de aporte de energía. Prueba de ello son los altos niveles de lactato alcanzados en diferentes tramos del partido, donde los jugadores pueden estar entorno al 50% del tiempo por encima del umbral de 4 mmol/L, así como las reducidas reservas de glucógeno y fosfocreatina a la finalización del mismo. Por lo tanto, si bien la importancia del sistema aeróbico es innegable, la potenciación del sistema anaeróbico debe ser otro foco de especial relevancia en la preparación física del futbolista, dados los requerimientos en la producción de esfuerzos de alta intensidad. En efecto, aunque ocupan la menor parte del tiempo, estas acciones de alta intensidad son las que parecen tener una relación más estrecha con el rendimiento en fútbol, y como muestra de ello cabe destacar el hecho de que más del 80% de los goles vienen precedidos por un esprión (Faude et al., 2012).

Las mencionadas demandas físicas a las que expone un partido de fútbol generan un estado de fatiga en el futbolista que suele permanecer entre 48 y 72 horas, pero que en situaciones particulares (e.g.; periodos de congestión de partidos), pueden extenderse hasta las 96 horas (Silva et al., 2018). Estos acentuados niveles de fatiga mostrados suelen tener un origen multifactorial, estando principalmente relacionados con la deshidratación, el daño muscular, la depleción de glucógeno y la fatiga mental derivada de la competición (Nedelec et al., 2012), y se evidencian en alterados niveles de fuerza general, especialmente isquiotibial, rendimiento en salto con contramovimiento, acrecentados valores de creatina quinasa en sangre o la presencia de dolor muscular de inicio retardado, algunos de los cuales pueden persistir anormalmente alterados hasta 96 horas tras el partido (Silva et al., 2018). Asimismo, la adecuada gestión de los altos niveles de fatiga experimentados como consecuencia de un calendario de partidos cada vez más exigente junto a unas demandas de juego que han ido aumentando a lo largo de los últimos años, y que se espera que lo sigan haciendo, especialmente, en lo concerniente a las acciones de alta intensidad (Harper et al., 2021), suponen un desafío para preparadores físicos y demás miembros del cuerpo médico y de rendimiento en la incesable búsqueda de la optimización del rendimiento y la prevención de lesiones en el fútbol moderno.

### ***1.1.2 Perfil epidemiológico***

Con el objetivo de seguir contextualizando el fútbol como actividad deportiva, resulta conveniente atender al perfil epidemiológico lesional del futbolista, dado que, como se explicará más adelante, el riesgo de lesión musculoesquelética es una de las preocupaciones más candentes en cualquier estructura deportiva. Cuando es comparado

a otras modalidades, el fútbol podría considerarse un deporte expuesto a un alto riesgo de lesión, cuya incidencia es de las más altas entre los deportes más populares.

A pesar de la prudencia requerida a la hora de interpretar diferencias en las incidencias de lesión (IL) entre diferentes deportes, ya que puede haber discrepancias relevantes según el método utilizado (Stovitz & Shrier, 2015), existe cierto consenso en la literatura al situar al fútbol entre uno de los deportes en más alto riesgo de lesión, siendo superior al registrado en otros deportes de equipo, como hockey pista, béisbol, waterpolo, voleibol (Junge et al., 2006) o fútbol sala (Ahmad-Shushami & Abdul-Karim, 2020). Por ejemplo, según un análisis publicado en el que se comparaban las lesiones tratadas en un centro traumatológico alemán entre los años 1995 y 2010, el fútbol resultó ser el deporte de equipo que más lesiones provocó frente al fútbol americano, voleibol, baloncesto, balonmano o hockey sobre hielo, un hecho influenciado también, probablemente, por ser el deporte más popular del país (Krutsch et al., 2020). Por otro lado, cuando se compara, además, con otros deportes individuales, el fútbol también se perfila como uno de los más expuestos no solo a nivel de lesiones, sino de enfermedades, como se propone en un análisis realizado de los Juegos Olímpicos celebrados en Londres en el año 2012, donde el fútbol se situó como el segundo de 36 deportes en las incidencias registradas tanto de lesión como de enfermedad (Engebretsen et al., 2013).

Entrando a describir el perfil lesional del fútbol, el estudio más reciente realizado por el máximo organismo del fútbol europeo, la UEFA, en el que se analizan 49 equipos de nivel élite (clasificados para la UEFA Champions League), revela una IL de 6.6 lesiones por cada por cada 1000 horas de exposición (HE), siendo considerablemente mayor en competición (23.8 / 1000 HE) que en entrenamiento (3.4 / 1000 HE) (Ekstrand et al., 2021). Diferentes investigaciones sugieren que los datos podrían diferir dependiendo del nivel competitivo, a pesar de que no existe consenso respecto a la dirección de la diferencia. Mientras que hay estudios que proponen que la IL es mayor cuando se analizan equipos profesionales (i.e. no élite) (López-Valenciano et al., 2021) o semiprofesionales (Loose et al., 2019), otros sugieren que a medida que baja el nivel competitivo también hace lo propio la incidencia (Hägglund et al., 2016). Por otro lado, si bien no parece haber grandes diferencias respecto el fútbol femenino (6.1 lesiones / 1000 HE) (López-Valenciano et al., 2021), la IL en adultos parece ser relativamente mayor que en futbolistas jóvenes (Robles-Palazón et al., 2022), sugiriendo un efecto de la edad en el patrón lesional (Prieto-Lage et al., 2022) y/o de las características diferenciales entre ambas modalidades (e.g.; presión por el resultado, intensidad de juego). Igualmente, este patrón también podría estar influenciado por la liga (Argibay-González et al., 2022), de modo que para realizar un análisis preciso del riesgo relativo de lesión al que está expuesto un jugador de fútbol se torna necesario acudir a los datos publicados que más se aproximen al tipo de futbolista en cuestión, considerando el sexo, la edad y el nivel competitivo. Por último, a pesar de que la IL general se ha reducido a lo largo de los últimos 18 años, otros indicadores se han mostrado estables, sin reducirse, como ocurre con la gravedad de las lesiones, la incidencia de las de tipo muscular, así como los días

de baja por cada 1000 HE (60.5 en entrenamientos, 504.6 en partidos) (Ekstrand et al., 2021).

Entrando a considerar la tipología de lesiones en fútbol, las más frecuentes son, sin duda, las que ocurren en los miembros inferiores, constituyendo las ligamentosas y musculares el 54% de todas ellas (Ekstrand et al., 2021). Atendiendo a la localización anatómica, las lesiones de más alta incidencia y que ocasionan un mayor tiempo de baja por cada 1000 HE son las sufridas en la rodilla (1.10 de incidencia y 34.8 días de baja), el muslo (1.85 / 25.0), la cadera o entrepierna (1.08 / 16.1), el tobillo (1.02 / 13.1), la pantorrilla y el tendón de Aquiles (0.80 / 9.4), y el pie (0.46 / 6.4); si analizamos el tipo de lesión, las tres más problemáticas serían las ligamentosas (1.68 y 37.9), las musculares (3.16 y 34.7) y las tendinosas (0.63 y 9.2) (Pulici et al., 2023). Respecto a las lesiones específicas que más tiempo de baja ocasionan son las de isquiotibiales (15.4 días / 1000 HE), LCA (14.4), aductores (9.4), esguince de tobillo (7.4), cuádriceps (7.4), ligamento colateral interno de la rodilla (7.2) y pantorrilla (4.7) (Tabla 1). La rodilla y el muslo parecen ser las localizaciones anatómicas más castigadas en el fútbol semiprofesional (Loose et al., 2019) y español (Torrontegui-Duarte et al., 2020), perfilándose así como las principales preocupaciones a nivel de salud musculoesquelética a afrontar por miembros del cuerpo médico y de rendimiento en clubes.

**Tabla 1.** Incidencia, severidad y carga de lesional de las lesiones que más días de baja por lesión provocan en fútbol (Pulici et al., 2023)

LESIÓN ESPECÍFICA	Incidencia	Severidad	Carga de lesión
Isquiotibiales	1.06	14.0	15.4
Ligamento cruzado anterior	0.06	211.3	14.4
Aductor	0.67	13.5	9.4
Esguince de tobillo	0.62	11.8	7.4
Cuádriceps	0.43	14.6	7.4
Ligamento colateral medial	0.31	23.0	7.2
Pantorrilla	0.32	13.1	4.7
Tendinopatía aquilea	0.19	20.5	4.1
Fractura del quinto metatarsiano	0.04	84.3	3.1
Dolor lumbar	0.20	8.8	2.0
Fractura de hueso del tobillo	0.02	84.1	1.8
Tendinopatía rotuliana	0.18	10.1	1.7
Lesión aislada del sindesmosis del tobillo	0.04	41.0	1.7
Conmoción cerebral	0.06	7.2	0.6

### 1.1.3 La preocupación por las lesiones: repercusiones en el rendimiento

Como se ha comentado, el fútbol puede ser considerado un deporte de alto riesgo de lesión musculoesquelética y, a su vez, este riesgo suscita una de las principales preocupaciones en la estructura de cualquier club. Esta preocupación se justifica por una doble vertiente: en primer lugar, por su efecto negativo en el rendimiento del equipo. Los hallazgos de numerosas investigaciones así lo constatan. Por ejemplo, se han encontrado relaciones significativas entre una mayor disponibilidad de jugadores libres de lesión en partido, así

como una menor carga de lesiones (i.e. lo que en inglés se denomina “injury burden” y comúnmente se expresa en días de baja por lesión por cada 1000 HE), y el rendimiento en competiciones domésticas y europeas en futbolistas profesionales (Hägglund et al., 2013). Asimismo, equipos con mejores datos en las métricas mencionadas acabaron mejor posicionados en la clasificación a final de temporada, consiguieron en promedio más puntos por partido disputado de liga, y recibieron una calificación del coeficiente de clubes de la UEFA (i.e. un coeficiente basado en los resultados conseguidos en competiciones europeas). Además, estos hallazgos se replican en ligas alejadas del continente europeo, donde equipos con incidencias de lesión más bajas acabaron en posiciones más altas de la clasificación, ganaron más partidos, anotaron más goles y consiguieron una mejor diferencia de goles, como lo demuestran datos extraídos de la competición qatarí (Eirale et al., 2013).

Por añadidura, las mencionadas empeoras en el rendimiento tienen una repercusión directa en los costes económicos que los clubes tienen que afrontar cada temporada. En la primera división inglesa se ha comprobado que cada equipo, en promedio, sufre pérdidas que ascienden hasta los 45 millones de libras debido a lesiones, consecuencia tanto de la merma en el rendimiento respecto al esperado (36 millones), como de las pérdidas derivadas de los salarios pagados a jugadores lesionados, incapacitados para competir (9 millones) (Eliakim et al., 2020). Estos jugadores más expuestos, además, pueden ver reducidos sus valores de mercado, lo que adicionalmente podría afectar negativamente a las cantidades que el club recibiría por un potencial traspaso. Esta idea se ve reforzada por un estudio que analizó a los competidores de las 5 grandes ligas europeas (i.e. española, inglesa, alemana, italiana y francesa), en el que se determinó que cada equipo, en promedio, sufrió pérdidas de hasta 6 millones de euros por temporada debido a las lesiones, siendo las de isquiotibiales y la de LCA las que producían unas pérdidas más pronunciadas (Pulici et al., 2023).

A pesar de que parezca una obviedad afirmar que las lesiones son un problema de preocupación para el futbolista también a nivel individual, cabe resaltar no solo las nefastas consecuencias a nivel de rendimiento o económicas que ciertas lesiones pueden provocar al jugador (e.g.; la lesión de LCA), sino los negativos efectos que estas pueden ocasionar en la salud del deportista a largo plazo, una vez acabada la carrera deportiva (Turner et al., 2000). Al mismo tiempo que pueden empeorar su salud en épocas avanzadas de su vida, las lesiones también pueden truncar la progresión y el correcto desarrollo de futbolistas jóvenes que, formando parte de academias profesionales, aspiran a convertirse en futbolistas de élite (Larruskain et al., 2022).

A tenor de lo expuesto, cabe concluir que la problemática de las lesiones en fútbol es una preocupación que atañe a cualquier club y a todos los niveles de la estructura organizativa del mismo, desde el presidente hasta los jugadores, pasando por todos los miembros del cuerpo técnico, médico y de rendimiento. Es por ello por lo que no es de extrañar que, en un deporte en el que las exigencias físicas son cada vez mayores, como es el fútbol moderno, la prevención de lesiones sea un tema candente y una de las principales prioridades a abordar en la preparación integral del deportista, pues para que un futbolista



alcance el rendimiento que se espera de él, el primer requisito es que esté disponible para competir: y como se ha demostrado, si esto se consigue, las probabilidades de ganar aumentan.

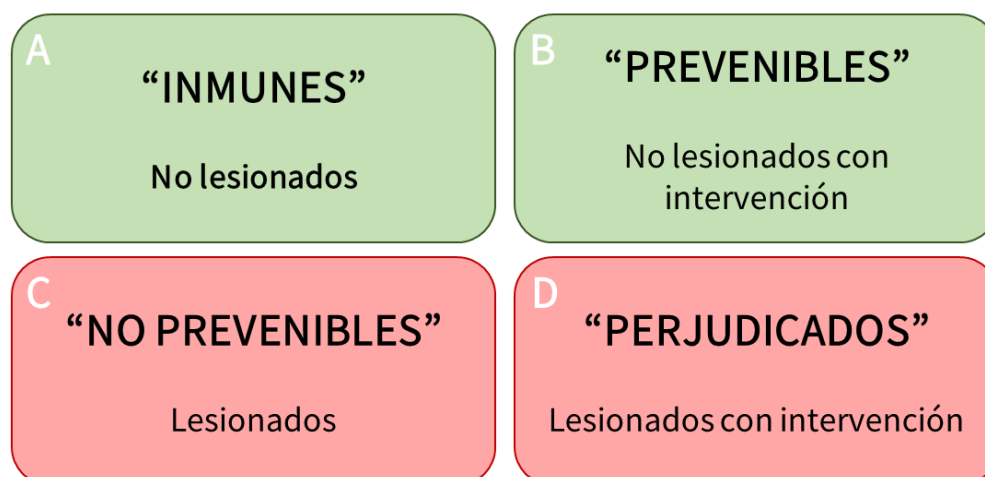
#### ***1.1.4 ¿Se pueden prevenir lesiones?***

Una vez ha sido clarificada la magnitud y la potencial gravedad de la cuestión de las lesiones en fútbol, no sorprende comprobar cómo los clubes cada vez dirigen una mayor cantidad de recursos materiales y humanos a reducir, al mínimo posible, sus negativas consecuencias. Al mismo tiempo, esta creciente consideración se ha visto reflejada también en el ámbito de la investigación científica, donde la prevención de lesiones en fútbol ha sido un tema que ha suscitado un especial interés en los últimos años. De hecho, al realizar una búsqueda básica en PubMed utilizando las palabras clave “prevención de lesiones” y “fútbol”, podemos comprobar cómo más del 84% de los artículos publicados hasta la fecha datan de los últimos 10 años, lo que indirectamente podría, además, indicar que, a pesar de los múltiples avances conseguidos, el problema aún se encuentra lejos de ser resuelto.

Antes de continuar con una mayor profundización sobre la temática, resulta conveniente aclarar terminológicamente el concepto de “prevención de lesiones”, dado que en los últimos años ha sido una fuente constante de debate, tanto en el ámbito científico como en la práctica (Shrier et al., 2023). Concretamente, diferentes autores han sugerido la utilización de nomenclaturas alternativas como “reducción de lesiones”, “reducción de factores de riesgo”, o “mitigación del riesgo de lesión”, argumentando que “prevención” es un término inapropiado puesto que implica evitar que ocurra un evento determinado (Webster & Hewett, 2018), lo que a su vez implicaría predecir la ocurrencia de dicho evento; en este caso, la lesión. Sin embargo, a pesar de los sorprendentes avances recientes en técnicas de inteligencia artificial, la anhelada predicción de lesiones aún parece un objetivo lejano, en tanto que reconocidos autores en el ámbito incluso dudan que alguna vez pueda ser alcanzado (Bahr, 2016).

No obstante, un reciente artículo publicado ha cuestionado la utilidad de un debate que parece infructuoso (Shrier et al., 2023). En primer lugar, para una apropiada comunicación de la información científica, especialmente en el caso concreto de la prevención de lesiones, sería conveniente que la investigación en Ciencias del Deporte adoptara una terminología que fuera consistente con la utilizada en la comunidad médica. De forma similar a lo que ocurre cuando se testa la eficacia de una vacuna para prevenir una determinada enfermedad, los participantes de un estudio cuyo objetivo es valorar la eficacia de un programa de prevención de lesiones se pueden categorizar en uno de los siguientes cuatro grupos, en función del efecto potencial que la presencia (o ausencia) de la intervención podría tener en el resultado de interés (i.e. ocurrencia de lesión) (Figura 2):

- No lesionados con y sin intervención (Figura 2A). Esto es, sin efecto de la intervención.
- Lesionados con y sin intervención (Figura 2C). Igualmente, sin efecto de la intervención.
- No lesionados con intervención, pero lesionados sin ella (Figura 2B). Efecto preventivo de la intervención.
- Lesionados con intervención, pero no lesionados sin ella (Figura 2D). Efecto perjudicial de la intervención.



**Figura 2.** Categorización de los grupos en función del potencial efecto de la intervención en la prevención de la lesión.

Posteriormente, como ocurre en medicina clínica y epidemiología, idealmente la pregunta de investigación sería testada mediante un ensayo controlado aleatorizado (ECA), a través del cual, sin embargo, sería imposible determinar si el programa es preventivo o perjudicial (i.e. tiene algún efecto de tipo causal) en cada uno de los participantes del estudio, dado que, de forma aleatoria, unos serán expuestos a la intervención y otros no. De este modo, únicamente se podría concluir que la intervención tiene algún efecto en el resultado de interés si existe un cierto efecto causal promedio; o lo que es lo mismo, si el programa consiguió evitar la ocurrencia de lesión en algunos de los participantes. En este caso, se determina que la intervención tuvo un efecto preventivo de lesión sobre la población estudiada. Apoyando esta nomenclatura, cabe destacar que, si bien ofrecen diferentes definiciones del concepto, numerosas fuentes internacionales (e.g.; Organización Mundial de la Salud, Diccionario de Epidemiología, Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos) coinciden en la interpretación de que algo es preventivo cuando se produce dicho efecto en, al menos, parte de la población.

Cuando se propone la utilización de nomenclaturas como “reducción del riesgo lesión” en lugar de prevención argumentando que no es posible prevenir todas las lesiones (i.e. prevenir la lesión en toda la población analizada), lo mismo podría ser concluido al respecto de la alternativa, dado que por los mismos motivos planteados previamente, mediante un ECA, considerado el diseño de estudio de referencia en metodología

experimental, será imposible determinar si, efectivamente, la intervención es efectiva en reducir el riesgo en todos los participantes (Shrier et al., 2023). Si, además, se acude a la definición que ofrecen la Epidemiología y otros ámbitos del concepto de mitigación del riesgo, como “acciones llevadas a cabo para evitar o minimizar determinados impactos ambientales, médicos o sociales negativos”, se podrá comprobar cómo esta es esencialmente una combinación de prevención primaria (i.e. reducción de la incidencia) y terciaria (i.e. reducción de las consecuencias), configurándose así como sinónimo de una definición expandida de prevención. Es por ello por lo que, dado que no existen matices determinantes entre conceptos, que no hay motivos de peso para desaconsejar su uso, y que es un término más extendido en la contexto futbolístico, de aquí en adelante se considerará “prevención” como el “conjunto de acciones dirigidas a erradicar, eliminar o minimizar el impacto de una enfermedad o incapacidad, o retrasar su progreso” (Porta, 2014), siendo la prevención primaria el foco principal de la presente Tesis, entendida como “acciones dirigidas a la reducción de la incidencia de – en este caso – la lesión de LCA”.

Por último, siguiendo el razonamiento expuesto, se puede entender por qué el hecho de que ciertas lesiones puedan ser prevenidas no implica, necesariamente, que su ocurrencia pueda ser predicha. Si bien este sería un objetivo a alcanzar más que deseable a nivel de investigación y cuya repercusión en la práctica sería determinante, la complejidad de la predicción reside no solo en la naturaleza multifactorial de las lesiones, sino en la interrelación entre sus FR predisponentes y su interacción con unas condiciones externas que, además de ser prácticamente ilimitadas en un deporte como el fútbol, escapan absolutamente del control de los profesionales de la salud (Bahr & Krosshaug, 2005a). Sin embargo, este será un tema que se discutirá más adelante, en el caso concreto de la lesión en que está enmarcada la tesis: la lesión de LCA.

## **1.2 Lesión de ligamento cruzado anterior en fútbol**

Como se ha analizado, las lesiones son una de las principales preocupaciones en fútbol, por lo que su prevención es del interés de todos los niveles dentro de su estructura organizativa dada la contrastada influencia positiva que tiene en la optimización del rendimiento tanto a nivel de grupo como individual. Aunque sin duda encontrar la forma de prevenir todas las lesiones que puede sufrir un futbolista sería un objetivo claramente deseable, la particularidad y la gran variabilidad de características, así como la variedad de potenciales desencadenantes que pueden desembocar cada una de ellas requiere un análisis individualizado que permita identificar, de manera precisa, los mecanismos, FR y estrategias más efectivas y eficientes que permitan, en última instancia, su prevención.

En este sentido, por ser una de las más devastadoras a nivel individual y por la relevantes repercusiones tanto económicas como de rendimiento que pueden suponer a nivel de equipo, en las próximas secciones se tratará de describir el plan de acción para prevenir lesiones de LCA en fútbol, objetivo general de la presente tesis. Y para ello, se utilizará el modelo actualizado propuesto por (Finch, 2006), que pretende trasladar la

investigación a la práctica con el fin de hacer efectivo el proceso de prevención de lesiones. Este modelo considera las siguientes etapas:

- a) Establecimiento de la magnitud del problema, su incidencia y su severidad.
- b) Identificación de las causas, FR y mecanismos de lesión.
- c) Desarrollo de estrategias preventivas.
- d) Evaluación de la eficacia de estas estrategias en condiciones ideales.
- e) Determinar el contexto de aplicación para aportar los matices necesarios para su correcta implementación.
- f) Evaluación de la eficacia de estas nuevas estrategias en condiciones reales.

Respecto a otros publicados con anterioridad, uno de los rasgos distintivos del modelo de Finch reside en la importancia dirigida al rol de la implementación en el contexto real, aspecto que no había sido considerado previamente. Esto es, determinadas estrategias preventivas de lesión pueden mostrar una excelente eficacia en condiciones ideales que, sin embargo, resultan difícilmente implementables en el contexto real de aplicación, por lo que poseerían, al mismo tiempo, una baja eficacia en condiciones reales (de aquí en adelante, se considerarán “eficacia ideal” y “eficacia real”, respectivamente). Un ejemplo hipotético sería el de un programa de prevención de lesiones compuesto por ejercicios de fuerza, movilidad y estabilidad que requieren ser entrenados 5 días a la semana, 4 horas al día y con tecnología de alto estándar, el cual presumiblemente reduciría considerablemente la incidencia de todas las lesiones de tipo muscular. La eficacia ideal quedaría fuera de toda duda. Sin embargo, ¿cómo se aplicaría este programa en el contexto de un equipo de fútbol semiprofesional que entrene 4 veces por semana, con jugadores que han de complementar los entrenamientos con otras obligaciones laborales, donde el tiempo es limitado y el presupuesto reducido? ¿Qué tiempo quedaría disponible para el trabajo de importantes factores determinantes del rendimiento, principalmente técnico-tácticos, y como repercutiría esto en los resultados del equipo? Muy probablemente, no habría capacidad alguna para su implementación por lo que, a pesar de sus prometedores efectos en un contexto ideal, su eficacia real para este determinado contexto sería nula.

La distinción entre eficacia ideal y real es de tal magnitud que incluso determina las preguntas y, por ende, el diseño de investigación en ensayos clínicos (Singal et al., 2014), haciendo lo propio en el ámbito de las Ciencias del Deporte. Esta distinción, sobre la que se profundizará en el apartado “Componentes de una intervención efectiva”, fue la que decantó el diseño de la intervención llevada a cabo como último trabajo de la presente tesis. A continuación, se detallará el proceso mediante el cual se tratará de abordar el problema de la prevención de lesión de LCA en fútbol.

### ***1.2.1 Magnitud del problema***

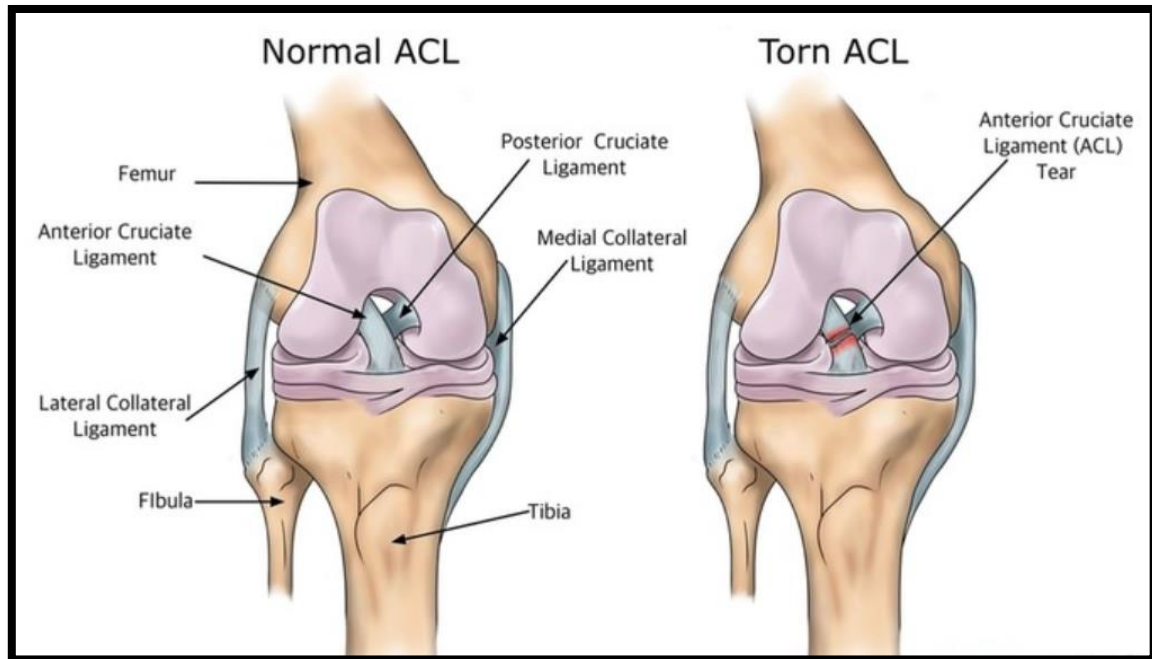
La lesión de LCA no es, en absoluto, una de las más frecuentes en fútbol. Su incidencia es de aproximadamente 0.06 lesiones por cada 1000 HE, siendo unas 20 veces mayor en

partidos que en entrenamientos (Pulici et al., 2023; Waldén et al., 2011), lo cual corresponde, en promedio a 0.6 lesiones por equipo por temporada (Grassi et al., 2017). Asimismo, se espera que cada equipo sufra, aproximadamente, una rotura de LCA cada dos temporadas y, a nivel de liga, una lesión cada 7 jornadas de competición. Si bien esta incidencia se puede ver incrementada en determinadas poblaciones, como en adolescentes, especialmente en el fútbol femenino (Gupta et al., 2020), en el fútbol amateur (Szymiski et al., 2022) o propiciada por un cambio de entrenador o un ascenso en de división (Sandon et al., 2022), también podría verse reducida ligeramente en el caso del fútbol semiprofesional (Szymiski et al., 2022). Sin embargo, considerando el hecho de que, tanto en el fútbol amateur como en el semiprofesional, el porcentaje de lesiones que no ocurren por un contacto directo con la rodilla lesionada sea mayor (78-79%) que en el fútbol profesional (52%), se podría especular que o bien la falta de concienciación en niveles no profesionalizados, o bien la escasez de recursos y/o estrategias cuya implementación fuera factible en dicho contexto, exigen el empleo de mayores y diferenciados esfuerzos para abordar la problemática en esta población de futbolistas.

Aunque no se trata de una de las lesiones más frecuentes, la de LCA sí corresponde a una de las que más tiempo aparta al jugador, en promedio, de la competición. De hecho, ha mostrado ser la lesión que más días de baja genera por cada 1000 HE (14.4) (Pulici et al., 2023), solo superada por la de isquiotibiales, tendencia que no solo se cumple en ligas europeas, sino que incluso se ve incrementada en ligas asiáticas, donde la cifra asciende hasta los 29.8 días por cada 1000 HE (Tabben et al., 2022). El motivo de que, a pesar de poseer una baja incidencia, sea de las que más prolongadas bajas cause viene marcado por los largos tiempos de recuperación que requiere, donde la investigación ha reportado entre 210 y 220 días para la vuelta a competición (VAC), lo que equivale, al menos, a unos 7 meses (Ekstrand et al., 2020; Forsythe et al., 2021). Sin embargo, hay investigaciones que sugieren que estos períodos deberían ser más extendidos en el tiempo, donde por cada mes en el que la VAC es retrasada, hasta los 9 meses, podría reducirse en torno a un 51% el riesgo de recidiva (Grindem et al., 2016), dado que hay limitaciones funcionales que podrían persistir hasta los 2 años tras la intervención. Estos tiempos tan prolongados de recuperación, que pueden ser aún mayores en fútbol amateur y semiprofesional (Szymiski et al., 2022) por la escasez de recursos, generan una gran preocupación a nivel de clubes. En primer lugar, porque sufrir una lesión de LCA supone que el jugador lesionado se pierda casi la práctica totalidad de la temporada, lo cual puede incidir directamente en el rendimiento en el caso de perder a uno de los jugadores de mayor importancia de la plantilla. Pero el problema no acaba en su repercusión en el rendimiento, sino que puede también provocar grandes pérdidas económicas por una doble vía: por el dinero pagado en términos de salarios a un jugador del que no se va a poder disponer en casi toda la temporada, y por la devaluación del mismo en una posible futura compra (Eliakim et al., 2020). En esta línea se ha comprobado cómo, correspondiéndose con una de las más lesivas a nivel económico, la rotura de LCA supone pérdidas de unos 84.500€ por cada 1000 HE a equipos de las 5 grandes ligas europeas, pudiendo dispararse esta cifra en equipos con mayores presupuestos, y aún más en jugadores con los más altos salarios (Pulici et al., 2023).

Si bien a nivel de club la lesión de LCA es una de las que más quebraderos de cabeza genera, aún más preocupante resulta a nivel individual, perfilándose, sin duda, como una de la más devastadoras de todas las que el futbolista puede sufrir por varios motivos. En primer lugar y, probablemente, en el principal grado de importancia para el jugador, por el alto riesgo existente de no volver a competir al nivel previo a la lesión. Por ejemplo, en un estudio donde se analizaban las consecuencias de sufrir una lesión de LCA en la VAC en el fútbol alemán (i.e. Bundesliga), se encontró que a pesar de que la mayoría de ellos conseguían volver a competir (98.4%), tras 3 años, la mayoría no volvía a hacerlo al nivel previo competitivo (55.1%), donde más del 19% se habían retirado (11.8%), quedado sin contrato con ningún club (3.9%) o seguían sin haber vuelto a competir (3.9%) (Krutsch et al., 2018). El porcentaje de jugadores que ven su carrera definitivamente truncada después de una lesión de LCA parece aumentar hasta el 14.1% cuando se analizan las grandes ligas europeas. Cifras que ascienden drásticamente cuando el jugador que sufre la lesión posee más de 30 años, donde más del 76% terminan jugando en divisiones inferiores (47.6%) o poniendo punto y final a sus carreras (28.6%).

Los largos tiempos de recuperación, así como los déficits a nivel neuromuscular que pueden persistir incluso años después de la lesión, pueden ocupar un rol determinante en la problemática evidente para volver al nivel previo competitivo. Sin embargo, otro factor que claramente puede tener una influencia es el alto riesgo de recaída tras sufrir una lesión de LCA, el cual se sitúa entorno el 18%; cifra que asciende hasta el 26.9% cuando el mecanismo de lesión se produce en situación de no contacto con la rodilla lesionada (Della Villa et al., 2021). Esto supone que más de 1 de cada 4 jugadores que se lesionan en situaciones de no contacto sufren una segunda rotura de LCA; dato que es especialmente preocupante dado que un gran porcentaje de las lesiones se producen mediante este mecanismo (44%) (Della Villa et al., 2020). Cuando además la lesión se produce de manera aislada (i.e. sin lesiones concomitantes, Figura 3), el riesgo de segunda rotura se incrementa dramáticamente hasta el 42%. Sin embargo, el riesgo de volver a sufrir una nueva lesión de LCA no es el único problema postoperatorio, sino que no es infrecuente sufrir otro tipo de complicaciones y lesiones adyacentes (Mazza et al., 2022). Además, la salud articular de la rodilla, a medio-largo plazo, también presenta riesgos de verse notablemente perjudicada. En este sentido, la rodilla lesionada puede mostrar parámetros anormalmente altos de laxitud tras 10-15 años desde la reconstrucción del LCA, unidos a un alto riesgo de desarrollar osteoartritis temprana (Øiestad et al., 2010). De hecho, hasta un 80% de los deportistas pueden sufrir osteoartritis de rodilla, y entono al 46% sufrirla de forma sintomática. Como consecuencia de este reconocido problema, el pasado junio de 2019, un grupo de expertos en la lesión de LCA elaboró unas directrices entre las cuales se sugería, con un consenso absoluto entre los participantes, que los exámenes clínicos realizados posoperación debían incluir un seguimiento específico del desarrollo de osteoartritis en el medio-largo plazo del deportista lesionado (Svantesson et al., 2020).



**Figura 3.** Principales ligamentos de una rodilla sana (izquierda) y otra con una rotura de ligamento cruzado anterior (derecha).

Por los motivos mencionados se puede concluir que, a pesar de ser una lesión poco frecuente en fútbol, el devastador grado de las consecuencias a corto, medio y largo plazo tanto en el equipo como en el futbolista derivadas de la rotura de LCA, hacen precisos que los esfuerzos para reducir su incidencia a los mínimos posibles sea una prioridad. Si además atendemos al hecho de que, aunque otras lesiones de tipo muscular se han visto efectivamente reducidas en los últimos años (Ekstrand et al., 2021), las de LCA se han mantenido estables, o incluso han aumentado a lo largo de los años en el caso del fútbol amateur (Szymiski et al., 2022), nos encontraremos ante una justificación adicional respecto a la necesidad de seguir abordando un problema que aún se encuentra lejos de estar resuelto.

### ***1.2.2 Mecanismos de lesión y acciones predisponentes***

Siguiendo el modelo descrito por Finch, una vez identificada la magnitud del problema de la lesión en cuestión, resulta de vital importancia realizar un análisis detallado de los mecanismos y acciones específicas en las que ocurre, los cuales, a su vez, ayudarán a dilucidar los FR que la predisponen (Bahr & Holme, 2003; Bahr & Krosshaug, 2005b). Tradicionalmente, la investigación se ha centrado en describir estos mecanismos a través de un enfoque exclusivamente biomecánico. Sin embargo, resulta preciso atender también a las situaciones específicas de juego, acciones realizadas por el jugador y su interacción con el oponente para obtener una información más detallada sobre estos mecanismos. Dada la particular naturaleza y las características distintivas inherentes a cada deporte, en la siguiente sección se describirán de manera profunda los mecanismos y acciones predisponentes a la lesión de LCA en fútbol.

Existen diferentes diseños de estudio que permiten dar a conocer cuáles son los mecanismos más frecuentes para una determinada lesión. Entre ellos se encuentran los siguientes: (1) entrevistas con jugadores lesionados, (2) análisis de vídeo, (3) estudios clínicos en los que se analizan los daños estructurales mediante pruebas de imagen, (4) análisis biomecánicos de simulaciones realizadas en laboratorio, (5) análisis in vivo de las fuerzas y tensiones ejercidas en los tejidos, (6) análisis de lesiones mediante experimentos biomecánicos, (7) estudios cadavéricos, y (8) simulaciones mediante modelajes matemáticos; cada uno de ellos ofreciendo diferentes tipos de fortalezas y debilidades (Krosshaug et al., 2005), de modo que el mejor análisis probablemente provenga de la combinación de los hallazgos encontrados mediante diferentes diseños (Boden & Sheehan, 2022). Por ejemplo, a través de estudios cadavéricos in vitro e in vivo (Markolf et al., 1995) se ha podido analizar cómo la contracción del cuádriceps afecta directamente al LCA, determinándose que es en ángulos de flexión de rodilla de 30° o inferiores cuando esta contracción, mediante el tendón rotuliano, genera fuerzas anteriores de cizalla en la tibia; acción antagonista a la producida por el LCA. Por otro lado, estudios realizados en laboratorio han servido para detallar con alta precisión la biomecánica segmentaria y articular que puede influir en los movimientos que potencialmente pueden generar un incremento de la tensión soportada por el LCA (Donelon et al., 2020).

Si bien han ayudado a aportar información fundamental en relación a los escenarios que provocan un aumento de la tensión del ligamento, los diseños de los estudios mencionados presentan la limitación de encontrarse alejados del contexto en los que ocurren realmente estas lesiones, invalidando parcialmente la extrapolación de los resultados. Al contrario, los análisis observacionales mediante vídeo, a pesar de presentar limitaciones como la dificultad de conocer el momento exacto de la lesión, o el hecho de que su precisión viene determinada por la calidad de las grabaciones, suponen una alternativa muy atractiva dado que aportan la información más detallada acerca de las situaciones de juego y movimientos que realizan tanto el jugador lesionado como los jugadores en interacción directa con él en los momentos previos y posteriores a la lesión. Las mejoras cualitativas experimentadas por los sistemas de grabación, así como la validación de metodologías que permiten minimizar las limitaciones comentadas han propiciado la creciente popularidad de este diseño en la identificación de los mecanismos de lesión de LCA ya que, como principal fortaleza, ofrecen la posibilidad de analizar lesiones reales en el contexto en que acontecen (Figura 4). La reciente publicación de análisis sistemáticos de vídeo en diferentes niveles (Brophy et al., 2015), sexos (Lucarno et al., 2021) y competiciones (Della Villa et al., 2020; Rekik et al., 2023; Waldén et al., 2015) ha contribuido a que tengamos una mayor y más precisa información respecto a los principales mecanismos y situaciones en los que se dan las lesiones de LCA.





**Figura 4.** Ejemplo de análisis observacional cualitativo de mecanismos de lesión de ligamento cruzado anterior. A la izquierda, se analiza una lesión causada en una situación de presión, sin contacto: (A) aproximación al oponente, (B) contacto inicial, (C) fotograma de la lesión, y (D) pérdida de equilibrio. A la derecha, otra causada por una entrada realizada, con contacto directo: (E) aproximación al oponente, (F) contacto inicial y entrada, (G) fotograma de la lesión, y (H) pérdida de equilibrio. Extraído de (Della Villa et al., 2020).

#### Variables específicas de fútbol

En el fútbol profesional, entre un 68 y 80% de las lesiones de LCA ocurren cuando el jugador está en una situación defensiva, en la mayoría (>80%) de las ocasiones a través de un mecanismo de no contacto o de contacto indirecto (esto es, en las que existe la aplicación de una fuerza externa contra el futbolista que no se dirige de forma directa a la rodilla lesionada (Della Villa et al., 2020; Rekik et al., 2023; Waldén et al., 2015)). A priori, esta predominancia supone un hecho que invita al optimismo en el desarrollo de estrategias preventivas, pues en el caso contrario, difícilmente se podría abordar una lesión que ocurre como consecuencia de un trauma dirigido directamente a la rodilla, como ocurre en lesiones de ligamento colateral medial, que además de ser difícilmente anticipado, también dependerá de la velocidad y la fuerza con que este sea dirigido por parte del oponente.

Entrando a detallar las situaciones específicas de juego (i.e. la acción mecánica efectuada en interacción con el entorno) en que acontecen, entre el 33 y el 50% de las lesiones que no ocurren por un contacto directo se producen en movimientos de presión donde el jugador se lesiona al realizar una desaceleración brusca o un cambio de dirección (CDD) de unos 30-90 grados de angulación y a alta velocidad, con el objetivo de arrebatar un balón controlado por el oponente o de trabar su trayectoria. Dentro de las que presentan una clara reducción posterior de la tibia (RPT), fenómeno frecuentemente observado en roturas de LCA que se describirá más adelante, el porcentaje de las que se producen durante CDD asciende hasta el 67%. La siguiente situación específica más frecuente se da en la que el jugador trata de recuperar el equilibrio tras golpear el balón (15-16%), generalmente al realizar un despeje y a una alta velocidad de desplazamiento horizontal. En las lesiones que ocurren por este mecanismo, casi en 3 de cada 5 (58%) existe un

contacto con el oponente, en forma de perturbación, dirigido comúnmente sobre los miembros inferiores.

Recibir o realizar una entrada también parece exponer al jugador a sufrir una lesión de LCA, situaciones en las que suele existir una perturbación mecánica no directamente dirigida a la rodilla previa al momento de la lesión (ML). Por otro lado, la mayoría de las lesiones que ocurren por contacto directo con la rodilla lesionada, ocurren mediante una entrada, constituyendo en torno al 20% del total de las mismas. Por último, aunque recientemente se ha sugerido que el aterrizaje tras salto no es uno de los mecanismos más frecuentes de lesión, suponiendo solo el 7% de las roturas que no ocurren por contacto directo y que, por tanto, ha estado sobredimensionado en el diseño de test de screening y estrategias de prevención (Della Villa et al., 2020), otros análisis parecen indicar que, por el contrario, estas situaciones siguen siendo comúnmente observadas, presentando porcentajes de entre el 15 y el 24% (Rekik et al., 2023; Waldén et al., 2015). Proporción que, además, parece ser aún mayor en aquellas lesiones con reducción posterior evidente de la tibia (33%) (Grassi et al., 2017). A nivel general, se puede comprobar cómo la lesión de LCA se da a menudo en acciones que ocurren a altas velocidades de desplazamiento horizontal (~60%), en apoyo unipodal (70-87%) y tras recibir una perturbación indirecta antes o en el momento del contacto inicial (CI) con el suelo (~24%), normalmente provocada en los miembros superiores (65-73%).

Finalmente, pero no por ello ocupando un grado inferior de importancia, investigaciones recientes han enfatizado el posible rol de la neurocognición en la lesión de LCA. La neurocognición puede ser definida como los procesos o funciones cognitivas en el contexto de los mecanismos neurales específicos mediante los cuales son ejecutados en el cerebro, así como los déficits en dichos mecanismos (Gokeler et al., 2021). En el deporte, como se planteó en secciones anteriores, el rendimiento viene determinado en gran medida por el conocimiento táctico y la ejecución técnica del futbolista, que a su vez están altamente influenciadas por las capacidades motrices y perceptivo-cognitivas que permiten al jugador identificar, procesar y actuar de manera rápida y efectiva en respuesta a un estímulo proveniente de un determinado contexto. De este modo, para alcanzar un mayor rendimiento en las tareas motrices a desarrollar, un futbolista debe ser capaz de percibir, interpretar y reaccionar de manera rápida y precisa a los movimientos realizados por los oponentes.

Enlazando esta idea al contexto de la lesión de LCA, los movimientos de presión en acciones defensivas se han identificado como las situaciones predisponentes más frecuentes. Los futbolistas de alto nivel, entre otras cualidades, poseen un alto dominio de gestos específicos como las fintas, mostrando así una gran habilidad para realizar movimientos de engaño mediante los cuales regatear o zafarse del oponente que, por su parte, intentará anticiparse para arrebatarle el balón o dificultar su progresión. Esto supondrá un reto para el defensor que está presionando, pues a pesar de estar realizando un determinado movimiento para alcanzar el balón, tan pronto como el atacante realice la finta, en una fracción de segundo, se verá obligado a modificar de forma rápida y repentina el patrón motor. El hecho de alterar un movimiento previamente planeado y

cuya ejecución, probablemente, ya se encontraba en curso, supondrá una gran dificultad a nivel de control motor. Es por ello que la pericia del defensor para captar la información más relevante en los movimientos pretendidos por el atacante permitirá ganar un tiempo primordial que facilite anticipar el movimiento y, en consecuencia, ejecutar el patrón motor apropiado que optimice el rendimiento de su presión: esto es, recuperar el balón o impedir el avance.

En este sentido, la atención selectiva constituye la capacidad del defensor para elegir aquella información más relevante, así como omitir la de menor importancia para el correcto desarrollo de la acción. La incapacidad para redirigir esta atención de un estímulo a otro puede ocasionar una reducción de la conciencia espacial y condicionar negativamente el control motor. Esta situación podría darse en la que el defensor, atendiendo al balón o a los movimientos de finta del atacante, divide el foco de atención y la desvía, a su vez, del movimiento de CDD que se dispone a ejecutar. Esto no solo va a contribuir negativamente al rendimiento del CDD, sino que probablemente va a precipitar el mecanismo de lesión, donde el defensor sufre una ruptura de LCA como consecuencia, en parte, del limitado tiempo disponible para modificar un movimiento que ya había sido iniciado (figura 5).



**Figura 5.** En A y B, el defensor se encuentra leyendo el lenguaje corporal del oponente con el objetivo de anticiparse al movimiento, mientras que el atacante realiza una finta. En C y D, en respuesta a la finta realizada por el atacante, el defensor se ve obligado a realizar un rápido cambio de dirección de derecha a izquierda, lo que desemboca en la rotura de LCA (D) (Gokeler et al., 2021)

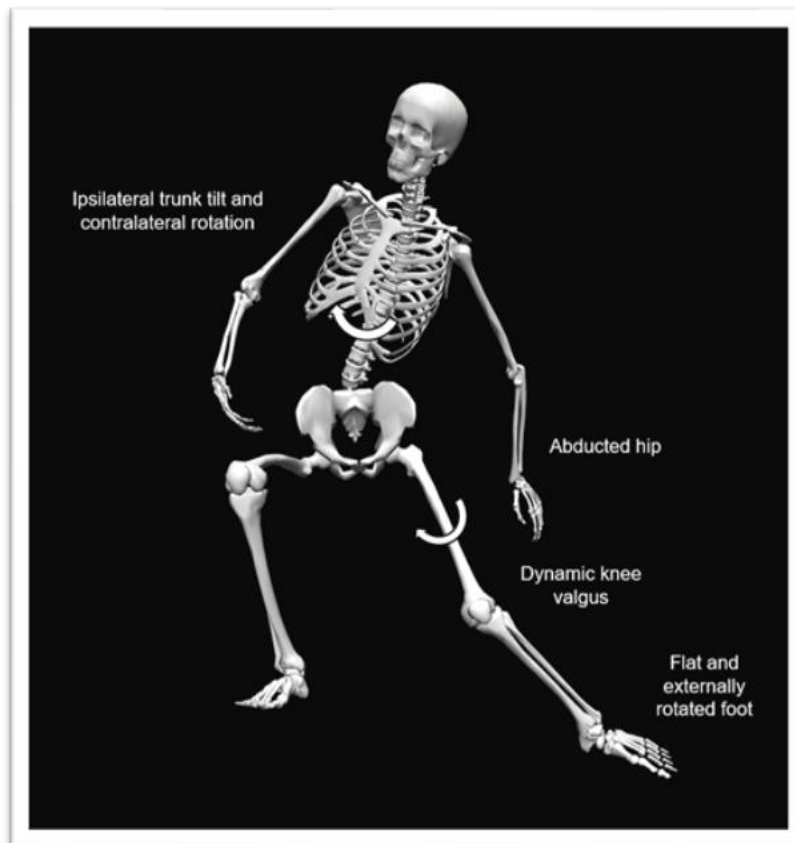
Una vez descritas las situaciones específicas de juego más frecuentes en los que se desarrolla la lesión, a continuación se detallarán los mecanismos biomecánicos que la

precipitan o que, al menos, resultan de la misma. Como se ha visto, estos mecanismos se verán determinados no solo por factores mecánicos, sino también neurocognitivos.

### Variables biomecánicas

El análisis de las variables biomecánicas que describen los mecanismos de lesión más frecuentes se ha centrado principalmente en dos momentos diferenciados dentro de la ejecución de la acción: el CI y el ML. El CI se considera el fotograma en el que el pie del deportista entra en contacto con el suelo, mientras que el ML se ha identificado de forma cualitativa mediante consenso de diferentes analistas (Waldén et al., 2015), aunque frecuentemente también se ha considerado como 40 milisegundos inmediatamente después del CI (Della Villa et al., 2020). En cualquier caso, a día de hoy no existe ningún método válido para conocer el ML con exactitud, y todos los análisis se basan en estimaciones.

Si bien existen determinadas particularidades en la biomecánica del mecanismo que se distinguen en las diferentes situaciones específicas que predisponen a la lesión, hay ciertos patrones comunes a todos ellas. En este sentido, se ha reportado como el CI se produce en una posición relativamente erguida en el plano sagital, con ángulos de flexión medianos de 0, 25-35 y 5-17 grados para el tronco, cadera y rodilla, respectivamente, con una flexión plantar temprana y apoyo de retropié en el 48% de los casos. Tras avanzar el movimiento hasta el ML, el tronco se mantiene erguido (0°), con valores similares de flexión de cadera (30-37.5°), mayores valores de flexión de rodilla (30-40°), tobillo neutro (0°) y apoyo de pie plano en más del 85% de los casos. En el plano frontal, el tronco se encuentra ligeramente flexionado hacia el lado de la rodilla lesionada (5°), en posición neutra (34% de los casos) o rotado hacia el lado opuesto (53%), principalmente con cadera en abducción (73-88%), rodilla en valgo (27%) y pie externamente rotado (59%) en el CI. En un patrón similar, el tronco se mantiene en la misma inclinación ipsilateral, así como la cadera en abducción, mientras que la prevalencia de rotación de tronco hacia el lado opuesto (83%), valgo de rodilla (81%) y de rotación externa (RE) de pie (66%) se ve incrementada notablemente en el ML. En esta misma transición desde el CI al ML, se observó un incremento acentuado también del grado de rotación interna (RI) de cadera. En la figura 6, se muestra el patrón biomecánico más representativo del mecanismo de lesión de LCA en la situación de presión defensiva, la más frecuente en fútbol.



**Figura 6.** Mecanismo de lesión de ligamento cruzado anterior sin contacto frecuentemente observado en situaciones de presión. Extraído de (Della Villa et al., 2020).

Si bien es cierto que, a pesar de que es frecuente observar un valgo de rodilla en el ML, no se considera así el conocido como ‘colapso de valgo’ (prevalencia < 15%), definido como un desplazamiento sustancial medial de la rodilla como consecuencia de una aducción y RI de cadera, valgo de rodilla y RE de tibia, al menos en las acciones de CDD en las mencionadas situaciones de presión, ni tampoco en las de recuperar el equilibrio tras un golpeo de balón. En estas últimas, sin embargo, también es frecuente la presencia de abducción de cadera y valgo de rodilla, aunque a diferencia de las primeras, estas se producen en una situación incluso más erguida tanto a nivel de cadera (10-25°), como de rodilla (10-27.5°) en el tránsito del CI al ML; patrón similar al observado en las de aterrizaje tras salto en las cuales, al contrario de los dos primeros, sí que es frecuente observar un colapso de valgo, dándose en entorno al 40% de los casos, produciéndose además todas en un apoyo unipodal de antepié.

Cuando la lesión de LCA es sufrida de manera aislada; esto es, sin que existan otros daños estructurales en ligamentos, cartílagos o meniscos, el riesgo de sufrir otra nueva lesión de LCA aumenta considerablemente (Della Villa et al., 2021). Por otro lado, cuando aparecen otras lesiones asociadas, el tiempo requerido para la VAC suele ser mayor. En un reciente artículo publicado recientemente, los autores proponen que la presencia de algunos de estos daños estructurales adyacentes (i.e. contusiones óseas, lesiones osteocondrales o roturas de menisco) podrían venir causados por el mecanismo de RPT que frecuentemente se observa en roturas de LCA (figura 7), el cual también podría ser

el causante del conocido chasquido que el jugador siente al sufrir la lesión (Grassi et al., 2017). Además, proponen un patrón de lesión que ocurre en seis pasos, donde la RPT ocurre en los últimos tres:

- a) Primero, el aumento de las cargas sufridas por la rodilla en valgo incrementa la tensión soportada por el ligamento colateral interno, así como las fuerzas compresivas en la parte lateral de la rodilla.
- b) Estas fuerzas compresivas, sumadas a las fuerzas anteriores generadas por la contracción del cuádriceps, causan un movimiento del fémur respecto de la tibia, donde el cóndilo lateral se desplaza posteriormente y la tibia lo hace anteriormente y en RI, lo que provoca la rotura del LCA.
- c) Por su principal función para limitar la traslación anterior de la tibia, una vez que se ha roto el LCA, se produce un desplazamiento posterior del cóndilo femoral, lo que ocasiona una RE de la tibia. Esta rotación, además, se ve exacerbada, por un lado, por el patrón típico en el que el futbolista comienza a cambiar de dirección, y por otro, por la mayor profundidad anteroposterior de la meseta tibial medial en comparación con la lateral.
- d) Por causa de la acción motriz que causa la lesión (i.e. CDD, aterrizaje de salto), la flexión de rodilla aumenta mientras la traslación anterior de la tibia se estabiliza, en lo que sería el comienzo del mecanismo de RPT.
- e) Puesto que la tibia, que se encuentra subluxada tras la rotura de LCA, es incapaz de soportar el peso corporal, el futbolista reacciona levantando el pie del suelo.
- f) Cuando la fuerza anterior que propició la rotura de LCA se disipa y la tibia ya no está limitada por el apoyo del pie con el suelo, la congruencia tibiofemoral, la elasticidad del tejido blando y la contracción de la musculatura isquiotibial provocan la rápida y repentina RPT.



**Figura 7.** Tres casos de lesión indirecta de ligamento cruzado anterior con reducción posterior tibial identificable. Los fotogramas en rojo (1D, 2D y 3D) representan el momento de máxima traslación anterior tibial, mientras que los rodeados en azul (1F, 2F y 3F) indican el final estimado del mecanismo de RPT. Extraído de (Grassi et al., 2017).

En un mecanismo que dura entorno a los 42 milisegundos, se ha observado que el comienzo de la RPT, en relación a cuándo ocurre el CI con el suelo, es muy variable. No obstante, el periodo comprendido entre el momento en que el pie comienza a despegar del suelo y la RPT responde a un patrón muy constante, como se detalla en el punto d). El hecho de que la RPT comience, consistentemente, en torno a los 55 milisegundos posteriores a este momento, podría contribuir a que cuando la lesión está provocada por un aterrizaje unipodal, donde hay menor capacidad para permitir esta reducción posterior en comparación a acciones que se dan a más altas velocidades (i.e. CDD), el riesgo de que ocurra un colapso total de la articulación es mayor y, en consecuencia, también lo es la presencia de lesiones adyacentes.

#### Condiciones temporales y climatológicas

También se han analizado recientemente los momentos de la temporada en los que parece haber un incremento de la IL de LCA. En la primera división italiana (Calcio), por ejemplo, se reportaron dos picos: uno al comienzo de la temporada competitiva, en los meses de septiembre y octubre, y otro acabando, entre los meses de marzo y mayo (Della Villa et al., 2020). Una de las posibles explicaciones que los autores dan a este hallazgo es que esos momentos coinciden con los meses menos lluviosos y más calurosos en Italia, dando lugar a un césped más seco. En la primera división española (LaLiga), cuyas condiciones climatológicas son similares, también se encuentra una incidencia aumentada en los mismos meses (Requejo-Herrero et al., 2023). En línea con estos hallazgos, se ha reportado que más del 93% de las lesiones de LCA ocurren en días sin lluvia (Della Villa et al., 2020; Waldén et al., 2015), con sol y el campo seco (Rekik et al., 2023). Sin embargo, en un reciente análisis de las últimas 12 temporadas en LaLiga, se observa que la temperatura y la humedad relativa a las que ocurrieron estas lesiones de LCA fueron de 16.7° y 66%, respectivamente, donde el 76% de todas se dieron en valores de humedad superiores al 50%, mientras que en torno al 86% lo hicieron bajo condiciones consideradas cálidas o extremadamente cálidas, de acuerdo al índice de calor (Olivares-Jabalera, datos sin publicar), lo cual sugiere que nuevas investigaciones podrían ayudar a dilucidar estas notables diferencias.

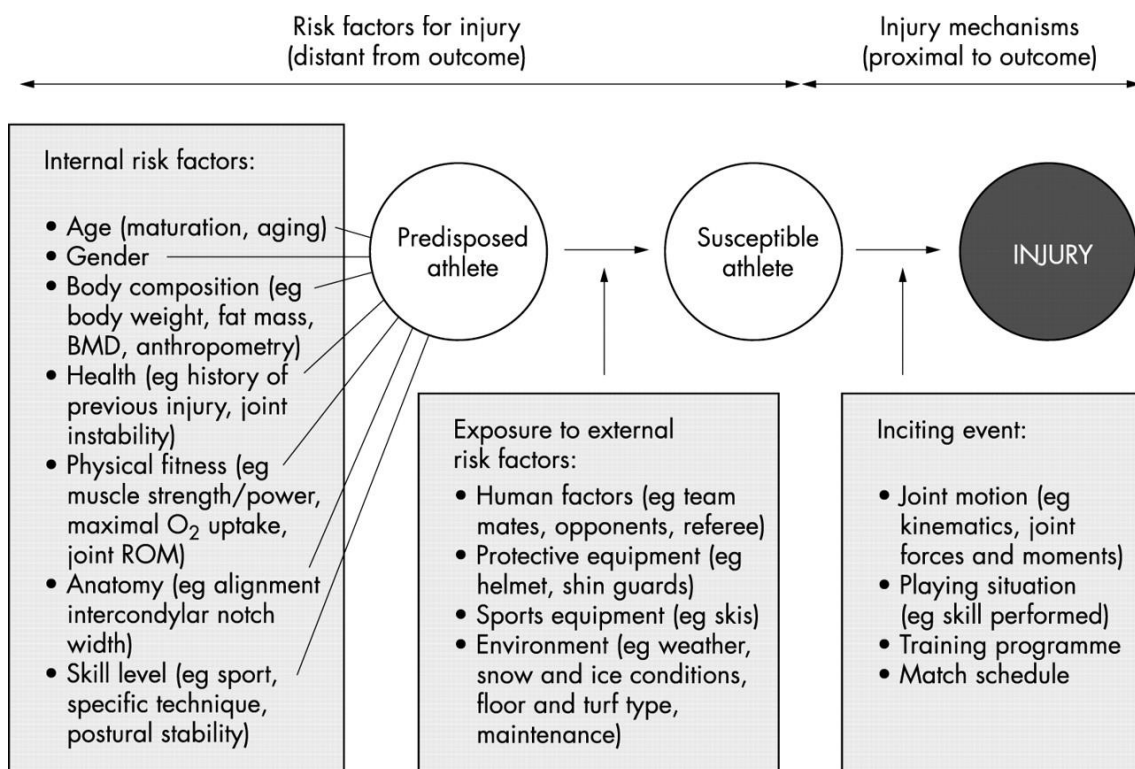
Otra explicación alternativa a la mayor densidad de lesiones en los meses de septiembre y octubre podría deberse al inicio de competiciones nacionales e internacionales que provocan una mayor congestión de partidos en aquellos equipos que las compiten, así como para jugadores internacionales que deben viajar con sus selecciones. Entendiendo que el riesgo de lesión es en torno a unas 20 veces mayor en competición, parece lógico que una mayor exposición a minutos de competición incremente notoriamente el número de lesiones. Por otro lado, el pico acrecentado de marzo y mayo podría verse explicado

por el inicio de las fases finales tanto de las competiciones domésticas como de las internacionales, donde a menudo el equipo se enfrenta a partidos decisivos que permitirán la consecución o no de los objetivos de temporada e individuales.

Por último, el rol que tradicionalmente se le atribuyó a la fatiga en la rotura de LCA se ha puesto en entredicho recientemente. De hecho, se ha demostrado cómo hasta el 62% de las lesiones se dan en la primera parte, porcentaje que aumenta considerando el tiempo útil jugado por el futbolista, el cual asciende al 68-73% para los primeros 45 minutos. Además, más de 1 de cada 4 lesiones ocurren en los primeros 15 minutos del jugador, lo cual sugiere una mayor influencia de otros factores diferentes de la fatiga acumulada (De Carli et al., 2021; Della Villa et al., 2020), como la potencial inadecuada preparación neuromuscular, la mayor intensidad de los primeros minutos o el estilo de juego del equipo y del futbolista.

### 1.2.3 Identificando factores de riesgo individuales

Una vez se conocen los mecanismos más frecuentes en los que ocurre la lesión, ahora el interés se centrará en cuáles pueden ser los FR que la predisponen, con el objetivo de abordarlos mediante estrategias preventivas. (Bahr & Holme, 2003) publicaron un artículo que, a día de hoy, sigue siendo un referente en el ámbito de la identificación de FR de lesiones deportivas. En una adaptación del modelo de (Meeuwse, 1994), los autores proponen que las causas de cualquier lesión vienen determinadas por la combinación e interrelación de una serie de FR intrínsecos y extrínsecos, dependiendo en última instancia de un evento que la desencadena (Figura 8).





**Figura 8.** Modelo dinámico y multifactorial de lesiones propuesto por (Meeuwise, 1994) y adaptado por (Bahr & Holme, 2003).

Siguiendo este modelo, la existencia de diferentes FR intrínsecos, individuales y específicos, sitúan al deportista en un estado de predisposición a lesionarse. Si bien estos FR contribuyen y forman parte de la compleja causativa de la lesión, rara vez son suficientes para producirla. La edad, el sexo o características anatómicas, como la amplitud de la escotadura intercondílea del fémur para las lesiones de LCA, son algunos de estos FR predisponentes. El deportista predisuesto, a su vez, se puede exponer a otra serie de FR extrínsecos. Un ejemplo de este grupo es la propia práctica del fútbol (i.e. deporte en alto riesgo de lesión de LCA, como se ha visto), donde el futbolista ha de interactuar con un entorno abierto, en unas determinadas condiciones atmosféricas, en cooperación con otros compañeros y en oposición a jugadores rivales. Estos FR extrínsecos situarán al deportista en una situación de susceptibilidad a la lesión, aunque su mera presencia, en combinación con los FR intrínsecos, nuevamente no será condición indispensable para que ésta se produzca. Finalmente, será la acción motriz, contextualizada en una situación deportiva específica, la que desencadenará la lesión. Tradicionalmente, esta acción motriz ha sido descrita mediante una perspectiva puramente biomecánica. Pero como se ha detallado en el apartado anterior, para un completo conocimiento de este evento es preciso detallar la situación que lo propició, analizando la acción específica de juego, así como la interacción con otros compañeros y oponentes en un entorno cambiante.

#### Consideraciones metodológicas en la identificación de riesgos

De este modo, se puede establecer que para conocer de manera precisa las causas que llevan a una lesión hay que comprender, en primera instancia, que estas resultan de la compleja interacción de múltiples FR. En una categorización útil desde un punto de vista práctico, estos FR se pueden categorizar como modificables y no modificables, siendo así que, a priori, serían los primeros los que mayor interés suscitarían a la comunidad médica y deportiva, por la presumiblemente mayor capacidad de abordaje y corrección mediante planes preventivos. Principalmente, tres son los diseños que a menudo se han utilizado para la identificación de estos FR:

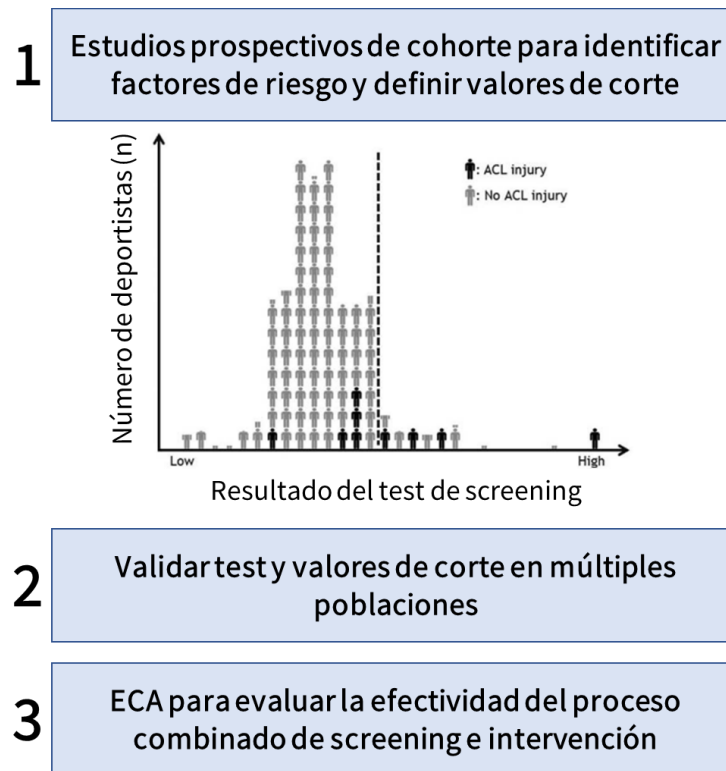
- a) Estudios de control de casos. En este diseño, lo que se analiza es la frecuencia o el nivel de presencia de uno o varios FR en un grupo de deportistas lesionados, en comparación a un grupo de deportistas no lesionados. En un análisis que se hace, a menudo, de forma retrospectiva, la principal limitación de este tipo de estudio es la incapacidad para determinar si la presencia de FR es la causa que pudo originar la lesión o, por el contrario, una consecuencia de la misma.
- b) Estudios de intervención (i.e. ECA). Mediante este enfoque, para un FR propuesto, se determina si una intervención dirigida a eliminarlo o reducirlo también se traduce en una menor IL, lo que efectivamente lo perfilaría como un FR para dicha lesión. Aunque es el diseño más apropiado para poder establecer

relaciones de causalidad, solo podría dar luz sobre aquellos FR modificables, con la limitación adicional de que solo se podría testar uno por grupo de intervención, lo que dificulta su aplicabilidad.

- c) Estudios prospectivos de cohorte. Mediante este diseño, el considerado de referencia para la identificación de riesgos, se miden potenciales FR antes de que ocurra la lesión. A partir de ese momento, se lleva a cabo un seguimiento de los jugadores que se lesionan, de modo que se pueda estimar de manera precisa valores de incidencia y riesgo relativo. Transcurrido el periodo de seguimiento definido, típicamente de una o dos temporadas en el contexto de lesiones deportivas en fútbol, se analizan las diferencias para los FR propuestos entre aquellos deportistas que se lesionaron y los que no. A pesar de ser el diseño más adecuado, posee la desventaja de que el tamaño de la muestra es clave: es necesario hacer un seguimiento de un gran número de deportistas, especialmente cuando se analizan lesiones poco frecuentes, como es el caso de la de LCA.

En esta línea, en un estudio más reciente, (Bahr, 2016) se cuestiona si, a pesar de los esfuerzos dirigidos durante últimos años, se estará en capacidad de desarrollar test de screening que permitan predecir lesiones. El screening es una estrategia que permite detectar una enfermedad en individuos sin síntomas con el objetivo de identificar determinadas condiciones patológicas de forma temprana, permitiendo así abordarlas con antelación y potencialmente reducir su morbilidad. En lesiones deportivas, un test de screening sería el que permitiría identificar el riesgo a sufrir una determinada lesión antes de que ocurra, para poder abordarla mediante estrategias preventivas.

Para que un screening sea útil en la práctica debe cumplir cuatro criterios (Wilson & Jungner, 1968): (a) que la condición testada suponga un problema importante de salud, (b) que sea susceptible a una detección temprana, (c) que su tratamiento temprano sea más beneficioso que aplicado más tarde, y (d) que existan test adecuados para detectarla de forma temprana. Por otro lado, y en el contexto de lesiones, para validar un programa de screening, (Bahr, 2016) propone un proceso consistente en tres pasos (Figura 9):



**Figura 9.** Proceso de tres pasos para validar un test de screening. Adaptado de (Bahr, 2016).

- a) Primero, se deben establecer asociaciones significativas entre diferentes FR y la lesión a través de estudios prospectivos de cohorte de alto nivel metodológico. Estos requerimientos metodológicos básicamente suponen la adopción de enfoques multivariados frente a univariados dado que las lesiones, como se ha visto, no vienen causadas por un único FR, sino que poseen una naturaleza multifactorial. Además, se sugiere el uso de estadísticos complejos como el modelo de riesgos proporcionales (i.e. regresión de Cox), que aportan una medida más precisa del riesgo que un jugador asume en comparación a otros modelos (i.e. regresión logística), por considerar la exposición temporal relativa de cada deportista. Todo esto ha de hacerse con tamaños de muestra suficientes para poder identificar relaciones significativas (Bahr & Holme, 2003).
- b) Después, estos mismos test propuestos deben ser replicados y validados en diferentes cohortes, de modo que se pueda determinar si los umbrales predeterminados son capaces de discriminar entre deportistas en alto y en bajo riesgo de lesión. Idealmente, presentando unas propiedades adecuadas, un test debería ser capaz de identificar la mayor cantidad de deportistas en alto riesgo para evitar que ninguno de ellos se viera privado de la implementación de estrategias preventivas, y además separar aquellos en bajo riesgo que no la necesitan y que, por lo tanto, podrían invertir su tiempo realizando otro tipo de trabajos.
- c) Por último, para constatar la eficacia del programa de screening, sería necesario determinar la eficacia de estrategias preventivas desarrolladas para reducir estos FR y, por lo tanto, reducir el riesgo de que la lesión ocurra, utilizando para ello un

ECA. Además, mediante esta intervención, debería constatarse que aplicar estas estrategias solo a los deportistas en alto riesgo es, efectivamente, más beneficioso que aplicarla a todo el grupo.

Esencialmente, la limitación principal en el paradigma que se ha adoptado tradicionalmente en este ámbito es que no se ha tenido en consideración la complejidad y la naturaleza multifactorial de las lesiones. En este sentido, gran parte de la investigación se ha centrado en analizar si determinados FR aislados son capaces de identificar la lesión, lo cual no refleja la compleja interacción de FR intrínsecos, extrínsecos y mecanismos que la precipitan (Verhagen et al., 2018). Esto ha resultado en la ausencia de FR con buenas propiedades de diagnóstico, lo cual no invalida que algunos de ellos contribuyan significativamente a la lesión. Tras estos indicios, en contraposición, sí existe una gran masa de investigación.

Adicionalmente, otra gran limitación presente en el mencionado paradigma es no haber tenido en cuenta la condición de temporalidad de los FR. En una elevada cantidad de estudios prospectivos de cohorte, lo que se ha pretendido es relacionar FR con lesiones que han ocurrido meses e incluso años después. Estos alargados tiempos de seguimiento son especialmente necesarios en lesiones poco frecuentes, como la de LCA, para contrarrestar la limitación de las bajas muestras que a menudo están disponibles para llevar a cabo este tipo de estudios en el contexto específico de equipos de fútbol. Ante la insuficiente cantidad de futbolistas a los que hacer un seguimiento, para observar un número considerable de lesiones que permita identificar asociaciones significativas se necesita de un dilatado tiempo de seguimiento (Bahr & Holme, 2003). No obstante, este enfoque alternativo asume que los FR son estáticos, mientras que la realidad es que estos pueden fluctuar y, además, reducirse si se identifican y se abordan, como no puede ser de otra forma desde un punto de vista ético. De este modo, para considerar esta temporalidad y a su vez garantizar un mínimo de potencia estadística en los análisis, sería necesario realizar estudios longitudinales de cohorte con medidas repetidas, de forma que la lesión pueda relacionarse con su estado más reciente, y no con una imagen estática del deportista que fue tomada meses o años atrás (Verhagen et al., 2018). Desgraciadamente, ningún estudio hasta la fecha, a mi conocimiento, ha conseguido establecer asociaciones significativas entre FR y la lesión de LCA siguiendo este tipo de diseños.

A las limitaciones comentadas se une la paradoja de la prevención, que plantea que las estrategias de prevención serán más beneficiosas cuando se apliquen a deportistas en riesgo bajo y moderado que cuando se implementen exclusivamente en aquellos en alto riesgo, dado que los primeros serán los que, en términos absolutos, sufrirán un mayor número de lesiones. La argumentada problemática presente en la investigación referente al screening y prevención de lesiones puede explicar, al menos parcialmente, por qué la IL de LCA se ha mantenido estable a lo largo de los años, a pesar de los enormes esfuerzos invertidos por la comunidad científica para reducirla. Realidad que lo que podría estar sugiriendo, en consecuencia, es que existe la necesidad de un cambio de paradigma.

Dejando a un lado las limitaciones existentes aunque sin dejar de asumirlas, en las siguientes secciones se resumirán los hallazgos más recurrentes que, durante tantos años de investigación, se han ido proponiendo como posibles FR de la lesión de LCA.

### Factores de riesgo genéticos

Desde hace años se lleva a cabo un intenso debate en el que se cuestiona si, en la culminación de un deportista de élite, existe una mayor influencia de factores genéticos o ambientales. Si bien se plantea que una combinación de ambas es requisito indispensable para alcanzar un propósito de tal envergadura, la literatura parece aportar una importancia ligeramente superior al genético (Georgiades et al., 2017). En la determinación de la causativa de lesiones deportivas, especialmente en años recientes, este también ha sido fruto de debate por sus importantes implicaciones en el ámbito de la prevención. Concretamente en fútbol, en una reciente revisión sistemática en la que se analizaron 34 estudios investigando la asociación entre genética y lesiones, se comprobó que entre los 99 polimorfismos de nucleótido único (SNP) analizados entre 63 genes, solo 3 presentaron asociaciones significativas con diferentes lesiones, en diferentes cohortes independientes: ACTN3 (rs1815739), ACAN (rs1516797) y VEGFA (rs2010963). Una de las funciones del ACTN3 es la codificación de la proteína intramuscular  $\alpha$ -actinina, componente estructural vital de la línea Z que contribuye al anclaje y la estabilización del mecanismo de contracción. La menor producción de dicha proteína podría reducir la capacidad muscular para mantener contracciones prolongadas y se ha propuesto como FR de lesiones musculares. Por su parte, la ACAN codifica el agregano, proteoglicano de gran estructura abundante en el cartílago. Los proteoglicanos tienen un rol sinérgico en la génesis fibrilar, mediante potenciales interacciones directas e indirectas con diferentes proteínas, incluyendo las redes de colágeno y las moléculas señalizadoras dentro de la matriz extracelular. La alteración de las propiedades de estas fibrillas de colágeno puede modificar componentes biomecánicos y funcionales del ligamento, potencialmente incrementando el riesgo de lesión. Dado que se ha visto que LCA rotos presentaban niveles más bajos de proteoglicanos, la presencia de este gen podría guardar relación con la lesión del mismo. Por último, el VEGFA, encargado de codificar el factor de crecimiento endotelial vascular, considerado el mayor inductor de angiogénesis (i.e. formación de nuevos vasos sanguíneos desde los existentes), también se ha asociado a lesiones de LCA, ligamentosas y tendinosas (McAuley et al., 2023).

En un estudio en 46 jugadores de fútbol de élite, masculino y femenino, de la primera división española (LaLiga), se analizaron los 108 SNP que se han asociado a lesiones musculares, tendinosas y ligamentosas. Encontraron que la IL fue 8.3 veces mayor en mujeres respecto a hombres, además de asociaciones entre el gen implicado en la formación de colágeno, el COL5A1 (rs13946), y el riesgo de lesión de LCA específico en mujeres. El interés en este gen reside en el hecho de que el colágeno es un componente estructural de las fibrillas de los ligamentos y estas, a su vez, están relacionadas con el nivel de hiperlaxitud articular (FR comúnmente asociado a la lesión de LCA,

especialmente en mujeres) (Rodas et al., 2023). En un estudio en el que previamente se habían analizado los historiales clínicos y el genotipo de más de 500,000 participantes, el gen COL3A1 mostró una asociación con el riesgo de lesión de LCA y ligamento cruzado posterior, probablemente por ser el responsable de la generación de colágeno tipo III, implicado en la regeneración de tejido conectivo (Kim et al., 2021). Un razonamiento similar utilizan (Posthumus et al., 2009) con el gen COL1A1, encargado de codificar el colágeno tipo I, cuya presencia en lesionados de LCA era menor respecto a no lesionados.

Mediante un enfoque alternativo pero con el que se pretende abordar la misma cuestión, en un estudio donde se analizó el mayor registro de gemelos del mundo (más de 88,000) durante un periodo de seguimiento de hasta 30 años, se estimó que la contribución genética a la lesión de LCA fue entorno al 69% (Magnusson et al., 2021). En este sentido, se concluyó también que la probabilidad de sufrir una rotura de LCA de un deportista cuyo hermano ya la hubiera sufrido previamente se incrementaría entre el 20 y el 140%. Estos hallazgos se ven apoyados por otra reciente revisión sistemática en la que, esta vez en población deportista, encontró que aquellos deportistas con un historial familiar de lesión de LCA (i.e. desde hermanos y progenitores hasta familiares de primer, segundo y tercer orden) presentaban una razón de probabilidad 2.5 mayor de sufrirla que aquellos sin historial familiar. Características anatómicas que se describirán a continuación (e.g. pendiente de la meseta tibial, escotadura intercondílea), cuya presencia está altamente marcada por factores genéticos, podrían ser considerados marcadores indirectos de la contribución genética presente en un futbolista a sufrir una lesión de LCA, aunque los mecanismos exactos por los que estos FR genéticos la predisponen requeriría una mayor investigación (Hasani et al., 2022). La presencia de factores extrínsecos y el impacto que estos tienen en el historial familiar como FR (e.g. predisposición de un niño a practicar un determinado deporte por practicarlo progenitores o hermanos) también requiere mayor investigación, dado que esta influencia familiar podría no ser un factor hereditario per se, sino que al contrario estaría reflejando la condición del deportista de formar parte de una familia que, cultural activamente, ha participado en deportes de alto riesgo de lesión.

Lo que parece claro, no obstante, es que parece haber un claro vínculo familiar que, juntos a los estudios recientemente llevados a cabo en el ámbito de la genética, la convierten en un importante FR a considerar en la identificación de futbolistas en alto riesgo de lesión de LCA.

#### Factores de riesgo anatómicos

Dentro del modelo de Bahr, un grupo de FR intrínsecos que pueden predisponer al futbolista a sufrir una lesión de LCA son los FR anatómicos. En principio, no son los más interesantes de abordar desde una perspectiva de prevención, dado que muchos de ellos son considerados no modificables, pero que conviene tener en cuenta para tener una panorámica más detallada del perfil de riesgo del jugador.

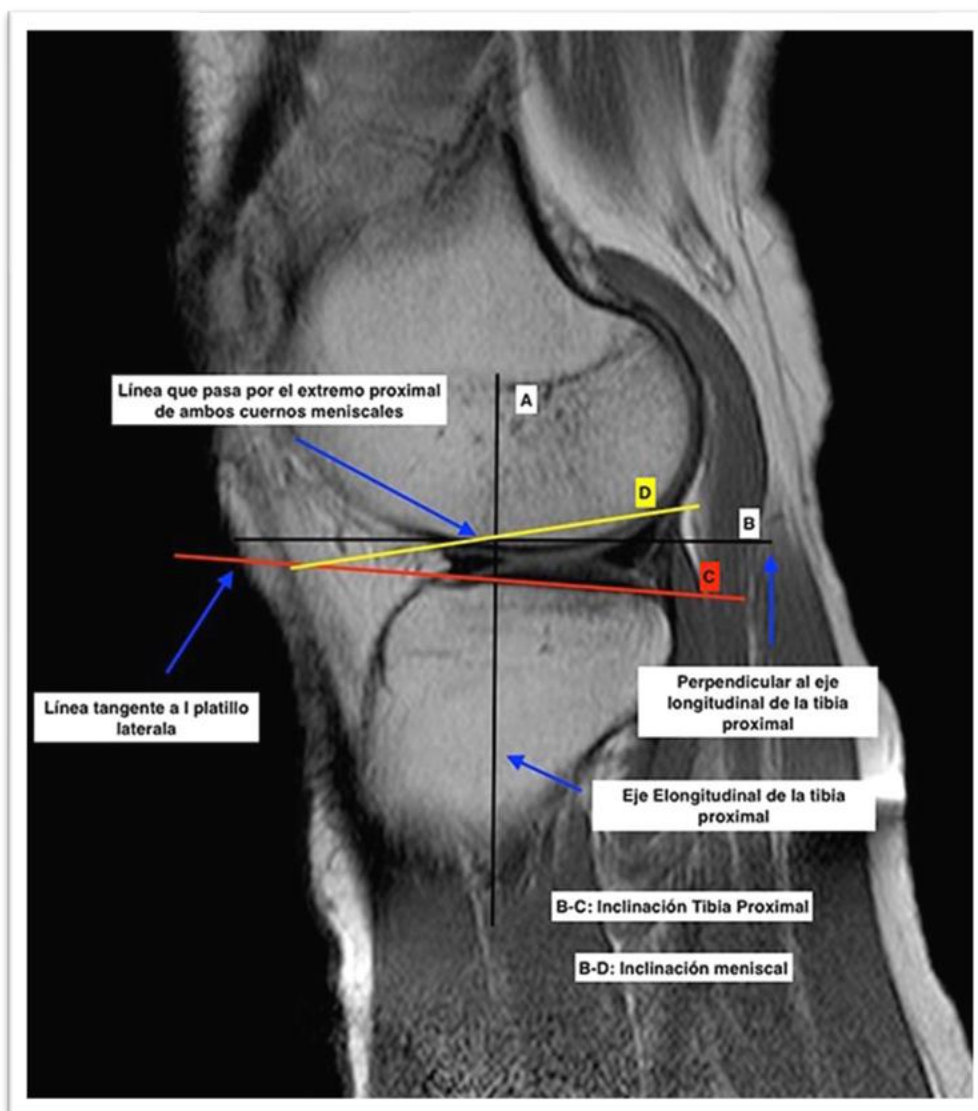
Entre ellos, una mayor laxitud articular parece incrementar el riesgo de lesión, dado su potencial para alterar la biomecánica de los movimientos de la extremidad inferior, incrementando las cargas en todos los planos de movimiento y, en consecuencia, tensando los ligamentos y provocando su ruptura. Esta mayor laxitud articular generalizada no solo tiene el potencial de afectar negativamente el movimiento de la rodilla en el plano sagital, sino que también puede alterarla en el plano frontal (valgo). De hecho, la mayor laxitud articular se ha propuesto como uno de los contribuyentes al documentado riesgo incrementado de rotura de LCA en mujeres respecto a hombres (Bisciotti et al., 2019).

Determinadas características de tronco y cadera también pueden determinar las cargas asumidas por el LCA. Por ejemplo, una mayor anteversión pélvica sitúa a la cadera en una posición internamente rotada, antevertida y flexionada, lo cual afecta, por un lado, a la capacidad de los isquiotibiales para prevenir el *genu recurvatum* y controlar el desplazamiento anterior de la tibia, y por otro a la magnitud de los momentos de fuerza que pueden aplicar el glúteo mayor y el glúteo medio, limitando así su capacidad para evitar el colapso de valgo de rodilla. El glúteo medio, principalmente implicado en mantener la cadera en abducción en mecanismos específicos como CDD y aterrizajes de saltos, también podría perder eficiencia por una mayor torsión femoral (i.e. menor ángulo comprendido entre el eje de la cabeza femoral y la línea transversal comprendida entre la zona posterior de los cóndilos femorales), evidenciada a menudo como una RI del pie.

Tradicionalmente, un aumento en el ángulo Q, esto es, el ángulo formado entre la línea comprendida entre la espina iliaca anterosuperior y la rótula, y la formada entre esta y el tubérculo tibial, se ha relacionado con un mayor riesgo de lesión de LCA, dada la posible influencia que puede ejercer en el aumento de estrés ocasionado por el valgo de rodilla. Como métrica alternativa y más informativa, se propuso que un menor ratio de anchura de pelvis respecto a longitud de fémur era un mejor predictor estructural del valgo de rodilla en situaciones dinámicas.

Un LCA más corto, con menor área de sección transversal y masa, así como con una menor concentración de fibrillas y área relativa ocupada por fibrillas de colágeno (estas dos últimas correlacionadas con su rigidez y módulo de elasticidad, y con la carga requerida para su ruptura y fuerza, respectivamente) se han propuesto como diferencias entre sexos. En este sentido, la macroestructura del LCA, que está determinada por sus propiedades mecánicas, podría explicar, parcialmente, la mayor IL de LCA en mujeres respecto a hombres. Por otro lado, una menor anchura de la escotadura intercondílea podría provocar mayores impactos del LCA con las raíces anteriores y posteriores de la misma cuando la tibia se encuentra en RE, movimiento observado en el mecanismo de lesión y que podría provocar la ruptura del ligamento (Alentorn-Geli et al., 2009a). Además, la forma intercondílea también parece entrañar cierta relevancia: cuando posee forma de “A”, en contraposición a cuando es de “U” invertida, podría ocasionar pinzamientos del LCA con el borde medial del epicóndilo lateral en situaciones de estrés de valgo, y con la parte superior de la escotadura en situaciones de hiperextensión.

Una mayor pendiente tibial posterior de la meseta tibial lateral, entendida como el ángulo comprendido entre el eje longitudinal de la tibia y la inclinación antero-posterior de la meseta tibial (Figura 10), también podría aumentar el riesgo. La mayor pendiente tibial posterior de la meseta tibial medial también ha sido asociada a la lesión de LCA, por incrementar la tensión asumida por el ligamento en contracciones de cuádriceps (Bisciotti et al., 2019), así como una menor profundidad de la concavidad de dicha meseta (Hashemi et al., 2010).



**Figura 10.** Medición de la inclinación de la meseta tibial en su compartimento lateral (ángulo comprendido entre líneas B y C). Extraído de (Cordialesi, 2018).

Por último, la pronación excesiva de la articulación subastragalina, unida a una mayor caída navicular, tienen la capacidad de generar un movimiento compensatorio de RI de la tibia que, cuando es excesivo, puede a su vez ocasionar fuerzas que se transmitan hacia elementos superiores de la cadena cinética. El mecanismo combinado de pronación y rotación tibial interna pueden ejercer una rotación femoral interna y cierto valgo de rodilla aumentando, en consecuencia, el riesgo de lesión de LCA.



### Factores de riesgo hormonales

En la literatura también se ha sugerido que determinadas características hormonales podrían tener una influencia en el riesgo de lesión (Hewett, 2000). Aunque se ha propuesto que estos factores hormonales podrían explicar, en parte, la mayor incidencia de lesiones en mujeres, no está claro si esta se da predominantemente en una determinada fase del ciclo menstrual respecto de las otras. En este sentido, algunas investigaciones sugieren que, dado que las células que componen el LCA poseen receptores de estrógeno y progesterona, en la fase preovulatoria, cuando los niveles de estrógenos se encuentran aumentados, las mujeres deportistas podrían presentar una mayor predisposición a la lesión de LCA.

Indirectamente, estas mayores incidencias en mujeres también se podrían ver parcialmente explicadas por los efectos que las hormonas sexuales tienen en la laxitud de rodilla. Mayores niveles de traslación anterior de la tibia observados durante las fases de ovulación y lútea apoyan esta idea. Por otro lado, los estrógenos y la progesterona han mostrado tener cierta influencia en el metabolismo del colágeno. Esencialmente, los estrógenos (i.e. estradiol) reducen la proliferación de fibroblastos y la síntesis de procolágeno tipo I, mientras que los niveles de progesterona parecen atenuar estos efectos inhibitorios de los estrógenos sobre el metabolismo del colágeno del LCA. Es probable que las oscilaciones en la presencia de estas hormonas y sus consecuencias a nivel estructural, unidas a las alteraciones encontradas en términos de fuerza muscular y coordinación neuromuscular, puedan formar parte de la explicación causal de esta mayor IL.

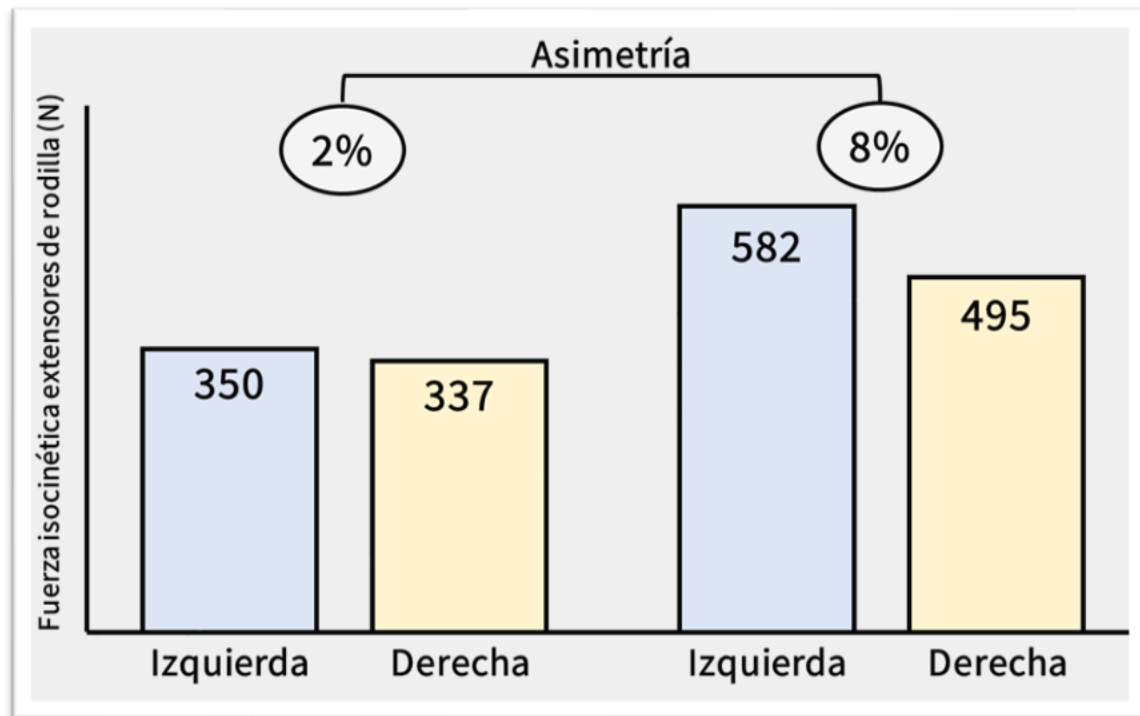
Como estrategia para atenuar los mencionados efectos de estas hormonas sexuales se ha propuesto que el consumo de píldoras anticonceptivas, por su contribución a una mayor estabilización hormonal, podría contribuir a mejorar la estabilización de la rodilla, así como reducir la acentuada laxitud articular. Un campo, sin embargo, que requiere una mayor investigación.

### Factores de riesgo neuromusculares

Deficiencias en la musculatura de la cadera, pelvis y el tronco se han propuesto como importantes precursoras de anormalidades biomecánicas que pueden incrementar las cargas del LCA. Concretamente, estas podrían estar asociadas a alteraciones de determinados patrones cinemáticos como la flexión de tronco, la caída de pelvis contralateral y el valgo de rodilla (Straub & Powers, 2023). Asimismo, bajos niveles de fuerza en la musculatura abductora y rotadora externa de cadera han sido asociados con un peor control del tronco y del valgo de rodilla. En relación a esto, el inadecuado control de la musculatura estabilizadora del core, necesario para resistir y atenuar las agresivas perturbaciones, generalmente en el tronco, a las que un jugador de fútbol, ha sido comúnmente asociado a un mayor riesgo de lesión. La capacidad para controlar

el desplazamiento del tronco tras estas perturbaciones incide, directamente, en las cargas asumidas por el LCA.

Además, insuficientes niveles propioceptivos, definida la propiocepción como la capacidad de mantener o recuperar una determinada postura corporal tras una perturbación, junto a una pobre capacidad de estabilización que teóricamente impediría una correcta producción, control y transferencia de la fuerza y el movimiento a los segmentos distales de la cadena cinética, podrían suponer un riesgo incrementado de lesión de LCA (Dai et al., 2014). En estrecha relación a esta idea, también se ha propuesto que una correcta sincronización de activaciones musculares unida a una apropiada coordinación intermuscular (entendida esta como la relación entre posiciones y velocidades angulares entre dos o más articulaciones (Sugimoto et al., 2015)) referente a la musculatura agonista y sinergista de rodilla, tronco y cadera, parece tener una relación directa con unos mayores niveles de propiocepción que, a su vez, protegerían frente patrones de alto riesgo. Respecto a la musculatura agonista de rodilla, si bien una mayor asimetría en la fuerza de extensión bilateral y un menor ratio de fuerza entre flexores y extensores han sido relacionados con una segunda lesión de LCA, no parecen tener tanta influencia para la primera (Straub & Powers, 2023). Aunque esta idea se ha desafiado también en la literatura, por otro lado se ve sustentada desde un punto de vista biomecánico. Concretamente, los extensores de rodilla aumentarían las fuerzas de cizalla anteriores asumidas en la tibia, mientras que los flexores limitarían esta acción: un desequilibrio en los ratios normales (propuestos en torno al 0.6) a favor de los primeros, ocasionaría una traslación anterior de tibia y aumentaría la tensión del ligamento. Por otro lado, un desequilibrio en el ratio H/Q podría ocasionar déficits posturales, aumentar la laxitud dinámica de rodilla, y favorecer la presencia de valgo de rodilla en situaciones de CDD y aterrizaje (Bisciotti et al., 2019). No obstante, la gran heterogeneidad en el cálculo de estos ratios y la propuesta de inclusión de nuevos métodos frente a los tradicionales han impedido el establecimiento de fuertes recomendaciones a este respecto (Ruas et al., 2019). A esta problemática se suma el hecho de que el análisis de asimetrías y/o ratios puede llevar a confusión si estos son analizados de manera aislada, sin una observación paralela de los valores absolutos de fuerza que los componen. Por ejemplo, se pueden obtener niveles de asimetría bajos con niveles de fuerza bilateral excesivamente bajos, por lo que el valor de asimetría *per se* estaría aportando información aparentemente positiva respecto al estado del deportista, al mismo tiempo que estaría encubriendo un déficit de fuerza que, de no ser considerado, podría exponerlo a un nivel de riesgo acrecentado (Figura 11). Por todo lo expuesto, a pesar de las dificultades para establecer relaciones causales entre niveles de fuerza muscular y lesión de LCA, su influencia en los patrones de movimiento de los principales mecanismos predisponentes parece estar ampliamente contrastada.



**Figura 11.** Ejemplo que muestra cómo valores aparentemente positivos de asimetría, cuando se analizan de forma aislada, pueden encubrir déficits de fuerza que deberían ser resueltos (gráfica de la izquierda, 2%). También se plantea la cuestión de la relevancia que pueden tener valores relativamente altos de asimetría cuando los valores absolutos de fuerza son altos (gráfica de la derecha, 8%).

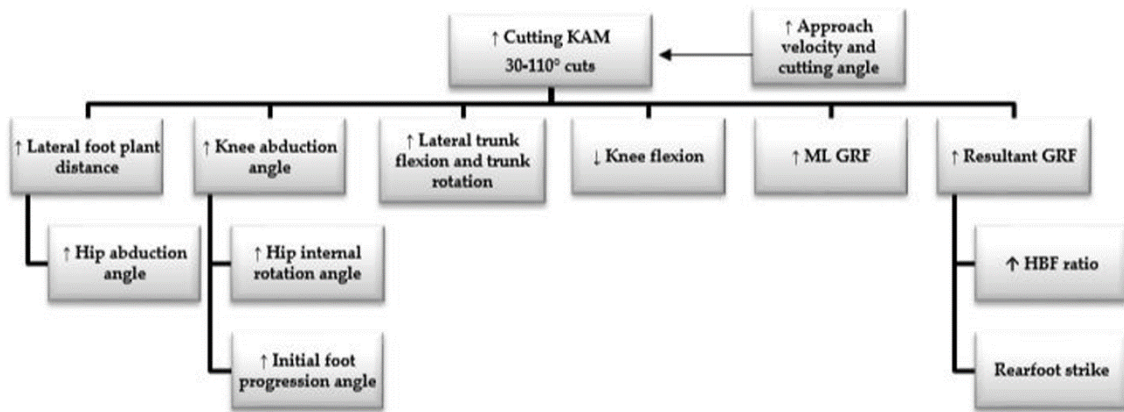
En último lugar, mayores niveles de fatiga, por su capacidad para alterar negativamente el control neuromuscular, también se han propuesto tradicionalmente como un FR de lesión, aunque la idea ha sido recurrentemente desafiada en recientes publicaciones que muestran como, al contrario de lo ocurrido en lesiones musculares como la de isquiotibiales, la gran mayoría de las lesiones de LCA se dan en los primeros minutos disputados, donde presumiblemente los niveles de fatiga son inferiores a los observados en los últimos minutos de partido (De Carli et al., 2021; Della Villa et al., 2020). Incluso, estos hallazgos podrían estar sugiriendo la idea de que es precisamente la ausencia de fatiga lo que permite que el jugador realice situaciones específicas a mayor intensidad, generando un mayor estrés mecánico y, en consecuencia, aumentando la sollicitación de estructuras pasivas como el LCA. Idea que debería ser investigada en mayor profundidad para, si bien no parece que la fatiga sea un factor determinante en el sufrimiento de dicha lesión.

#### Factores de riesgo biomecánicos

Las cargas asumidas por la rodilla y el LCA se ven directamente determinadas por los movimientos realizados por el cuerpo completo en su conjunto, donde patrones alterados en cualquiera de los tres planos de movimiento tienen el potencial de repercutir negativamente en el riesgo de lesión (Powers, 2010). En el plano sagital, bajos niveles de

flexión de tronco, cadera y rodilla y altos de dorsiflexión de tobillo; en el frontal, desplazamientos descontrolados de tronco, cadera y rodilla; y en el transversal, grandes RI de cadera, RE de tibia y de orientación del pie, todas ejercen cierta influencia en las cargas asumidas por el LCA. El nivel de ese efecto, no obstante, es dependiente de la tarea mediante la cual se realice el correspondiente análisis de movimiento.

En acciones de CDD, el mecanismo más frecuente, una reciente revisión sistemática desarrollada por (Donelon et al., 2020) recopiló aquellas variables biomecánicas que, a través de un aumento de las cargas experimentadas en la rodilla, podrían incrementar el riesgo de lesión de LCA. Tras analizar los 23 artículos que pasaron los criterios de inclusión y que analizaban diferentes cohortes de deportistas, los autores concluyeron que los momentos de abducción, de RI, y de flexión (externa) de rodilla se veían determinados por variables biomecánicas procedentes de diversas articulaciones, sugiriendo que anomalías en la calidad de movimiento en cualquiera de ellas, desde el tronco hasta los pies, poseían la capacidad de incrementar el riesgo de lesión. Concretamente, entre las posturas identificadas como alto riesgo se destacan las siguientes: orientación del tronco en el plano frontal, alejado de la dirección de desplazamiento; cadera en RI; valgo de rodilla al inicio de la fase de aceptación de la carga; rodilla cercana a la extensión; apoyo ancho, alejado de la proyección del centro de gravedad (análogo a la aducción de cadera); mayor ángulo de proyección del pie (rotado internamente); aterrizaje con retropié; y ausencia de estrategia de frenado en el penúltimo apoyo. Respecto a esta última variable, investigación reciente sugiere que, en el enfoque biomecánico del riesgo de lesión en CDD, el análisis del penúltimo apoyo es clave. En este sentido, la presencia de una adecuada estrategia de desaceleración en este apoyo, que redujera la cantidad de movimiento mediante un énfasis en la aplicación de fuerzas de frenado (horizontales), disminuiría considerablemente las ulteriores exigencias del último apoyo, reduciendo las cargas asumidas por la rodilla, al mismo tiempo que favoreciendo un mayor rendimiento en cambios de dirección con altas demandas de frenado; esto es, con angulaciones superiores a 60° (Dos'Santos, Thomas, et al., 2019a). En este sentido, cabe subrayar también el hecho de que las exigencias biomecánicas de los cambios de dirección se ven determinadas por el ángulo de ejecución y la velocidad de aproximación, donde ángulos más estrechos y velocidades más altas requerirán niveles de fuerza mayores para desacelerar y reaccelerar el centro de gravedad hacia la nueva dirección de desplazamiento. Consecuentemente, esto provocará un aumento de las cargas asumidas por la rodilla y una alteración de los patrones de activación muscular (Donelon et al., 2020). Es el modelo determinista que proponen en la mencionada revisión sistemática (figura 12), junto a evidencia procedente de artículos llevados a cabo con anterioridad, el que sirvió de fundamento teórico para el desarrollo del que fue, en su momento, el primer test de campo para medir la calidad de movimiento de cambios de dirección: el Cutting Movement Assessment Score (CMAS) (Dos'Santos, Thomas, McBurnie, et al., 2021; Jones, 2017).



**Figura 12.** Modelo determinista de variables que incrementan el momento de abducción de rodilla durante cambios de dirección de entre 30 y 100 grados. Extraído de (Donelon et al., 2020).

En relación a las situaciones de aterrizaje, hacerlo de forma bipodal ayuda a amortiguar mejor las fuerzas de reacción del suelo (FRS), donde la cadera y el tobillo se perfilan como las mayores disipadoras de energía. Respecto a los aterrizajes bipodales, los monopodales parecen exponer a la rodilla a una mayor amplitud de movimiento, convirtiéndola en la mayor disipadora de energía en el plano frontal. Estos movimientos descontrolados, entre los que se incluyen valgos de rodilla, inclinaciones laterales de tronco o aducciones de cadera, al igual que ocurría en situaciones de CDD, supondrán un aumento de las cargas asumidas por el LCA y, en consecuencia, convertirán a estos aterrizajes monopodales en una acción potencialmente más peligrosa (Sugimoto et al., 2015).

Todos estos FR biomecánicos se podrían ver exacerbados en situaciones de incertidumbre, que al mismo tiempo caracterizarían de forma más fidedigna los mecanismos reales de lesión, donde el proceso de toma de decisiones previo al CDD parece ocupar un rol crucial (Benjaminse et al., 2015; Gokeler et al., 2021). Estas situaciones de incertidumbre, respecto a movimientos anticipados, incrementan algunos de los patrones de alto riesgo en los tres planos de movimiento, como los momentos de abducción de rodilla (MAR) en el plano frontal o la disminución de los ángulos de flexión en el plano sagital, dando lugar a aterrizajes más rígidos. Además, estos movimientos no anticipados requieren ajustes corporales (e.g. patrones de contracción muscular, o posicionamiento del apoyo respecto al centro de gravedad) que deben ser realizados en un intervalo temporal del que a menudo no se dispone, lo que incrementa el riesgo y precipita la lesión (Beaulieu et al., 2009; Whyte et al., 2018). Otro componente que podría puntualmente afectar negativamente la biomecánica de estas acciones, así como sus patrones de activación muscular son las situaciones de fatiga. No obstante, la reciente evidencia que indica que la mayoría de las lesiones ocurren en los primeros minutos de partido ponen esta idea en entredicho, como se ha argumentado previamente.

Mención especial al historial previo de lesión

Si hay un FR que ha sido ampliamente investigado y demostrado en la literatura es el de haber sufrido una lesión previa. De hecho, en fútbol profesional, recientemente se ha hallado un 18% mayor de probabilidades de sufrir una segunda lesión tras una primera ruptura de LCA, porcentaje que puede inflarse hasta el 42% en lesiones aisladas (i.e. sin daños concomitantes) en mecanismos de no contacto (Della Villa et al., 2021). Se especula que, el hecho de que el mayor número de recidivas ocurra tras lesiones sin contacto podría verse explicado por una mayor contribución de factores no modificables (e.g. genéticos) y que, por tanto, junto a otros modificables (e.g. neuromusculares), incrementen el riesgo frente a lesiones que ocurren por contacto directo. Este patrón del considerable riesgo incrementado de sufrir una segunda lesión de LCA se repite en diferentes cohortes de deportistas (Hewett et al., 2006).

Otros de los motivos por los que una lesión previa de LCA puede incrementar el riesgo de una segunda lesión son la presencia de patrones de marcha y carrera inadecuados, mayores asimetrías en la carga asumida entre pierna lesionada y no lesionada, disminuciones en la contracción máxima voluntaria de extensores de rodilla y de la activación refleja de isquiotibiales, así como una pérdida de niveles de fuerza y sus ratios de H/Q, el incremento de los niveles de atrofia muscular y la pérdida de equilibrio y de control postural, donde el centro de masas (CDM) se situaría más antero-medial relativo al pie de apoyo en situaciones dinámicas (Sugimoto et al., 2015). Además, factores psicológicos como una mayor susceptibilidad a sufrir situaciones de estrés, el miedo a la recidiva o el hecho de poseer una personalidad más predispuesta a la aventura y a evasión de rutinas, con una tendencia a buscar cambios constantes, también pueden formar parte de la causativa a este evidenciado mayor riesgo de sufrir una segunda lesión de LCA (Fältström et al., 2021).

#### Otros factores de riesgo extrínsecos

Otros factores extrínsecos como el uso de vendaje, el calzado o el tipo de césped pueden predisponer a un incrementado riesgo de lesión (Sugimoto et al., 2015). Concretamente, existen determinadas configuraciones de tacos que, en interacción con las características de algunos tipos de césped (o las condiciones climáticas a las que están expuestos: por ejemplo sol, lluvia o viento), pueden provocar una mayor tracción entre el pie y la superficie que propiciará la presencia de patrones (pie clavado en el césped en el movimiento rotatorio de un CDD) con una fuerte influencia en las tensiones asumidas por el LCA y, en consecuencia, incrementando el riesgo de rotura. Un ejemplo de estos patrones es el mecanismo común del pie clavado en el césped mientras se realiza la reorientación corporal, a través de un movimiento rotatorio, en la ejecución de un CDD.

#### ***1.2.4 La prevención: estrategias de intervención***

Una vez cuantificada la problemática de la lesión de LCA en fútbol y conocidos los principales mecanismos y FR que la predisponen, faltarían por analizar las estrategias de

intervención disponibles para terminar de culminar el proceso de prevención. Como se infiere de lo discutido en la sección anterior, cada jugador que forme parte de una plantilla de fútbol va a estar expuesto a un determinado riesgo de sufrir una lesión de LCA, el cual se debe entender que nunca es cero. De hecho, en la figura 4 se percibe cómo la mera práctica deportiva y la exposición a inevitables acciones específicas que se dan en fútbol (e.g. aterrizajes de saltos) ya predisponen al futbolista, siendo que aquellos que finalmente se lesionan son los que, en conjunción a estos ineludibles factores externos, también presentan otros factores internos que desembocan en la rotura de LCA.

Como también se ha comentado, existen FR de origen genético o anatómico cuya potencial reducción como respuesta a adaptaciones provocadas por el entrenamiento parece muy limitada, al menos hasta que nueva evidencia sostenga lo contrario. En este sentido, dirigir las intervenciones a los FR modificables presentes en el jugador parece ser el enfoque más adecuado. No obstante, sería un error eliminar completamente de la ecuación los no modificables, pues no solo van a aportar información valiosa respecto al riesgo real al que el jugador está expuesto, sino que potencialmente pueden interactuar con otros FR modificables condicionando, en consecuencia, el enfoque de las estrategias preventivas. Un ejemplo claro es el de la lesión de LCA previa que, si no el principal FR, al menos sí parece ser el mejor documentado. El abordaje del trabajo preventivo diseñado por parte de un preparador físico o fisioterapeuta no va a consistir en un programa de intervención dirigido a eliminar dicho FR; haber sufrido ya una lesión de LCA es una información factual que no puede ser modificada. Sin embargo, una limitada funcionalidad de la musculatura flexora de la rodilla derivada de un proceso de cirugía y reconstrucción de LCA, por ejemplo, puede incrementar un riesgo que, al contrario que la lesión previa *per se*, sí podrá ser acometido con el entrenamiento. La musculatura isquiotibial es considerada agonista del LCA, dado que en los movimientos rápidos e impulsivos que caracterizan el fútbol, su contracción contribuye notablemente a reducir las fuerzas anteriores a las que se somete la tibia y, por tanto, a atenuar la tensión del LCA y aportar estabilidad a la rodilla. Es así como la presencia de un FR no modificable (lesión previa) es capaz de determinar el enfoque de un programa dirigido a reducir los FR modificables o “entrenables”; en este caso, una atrofia y/o déficit de fuerza de la musculatura isquiotibial.

En las próximas secciones se van a discutir cuáles son los principales componentes, así como los programas específicos de prevención de LCA propuestos en la literatura. No obstante, puesto que es una temática que en gran medida ya se discute en los artículos de la presente tesis, estas secciones supondrán más una primera aproximación que un análisis exhaustivo para no redundar en información que será presentada más adelante.

### Componentes de una intervención efectiva

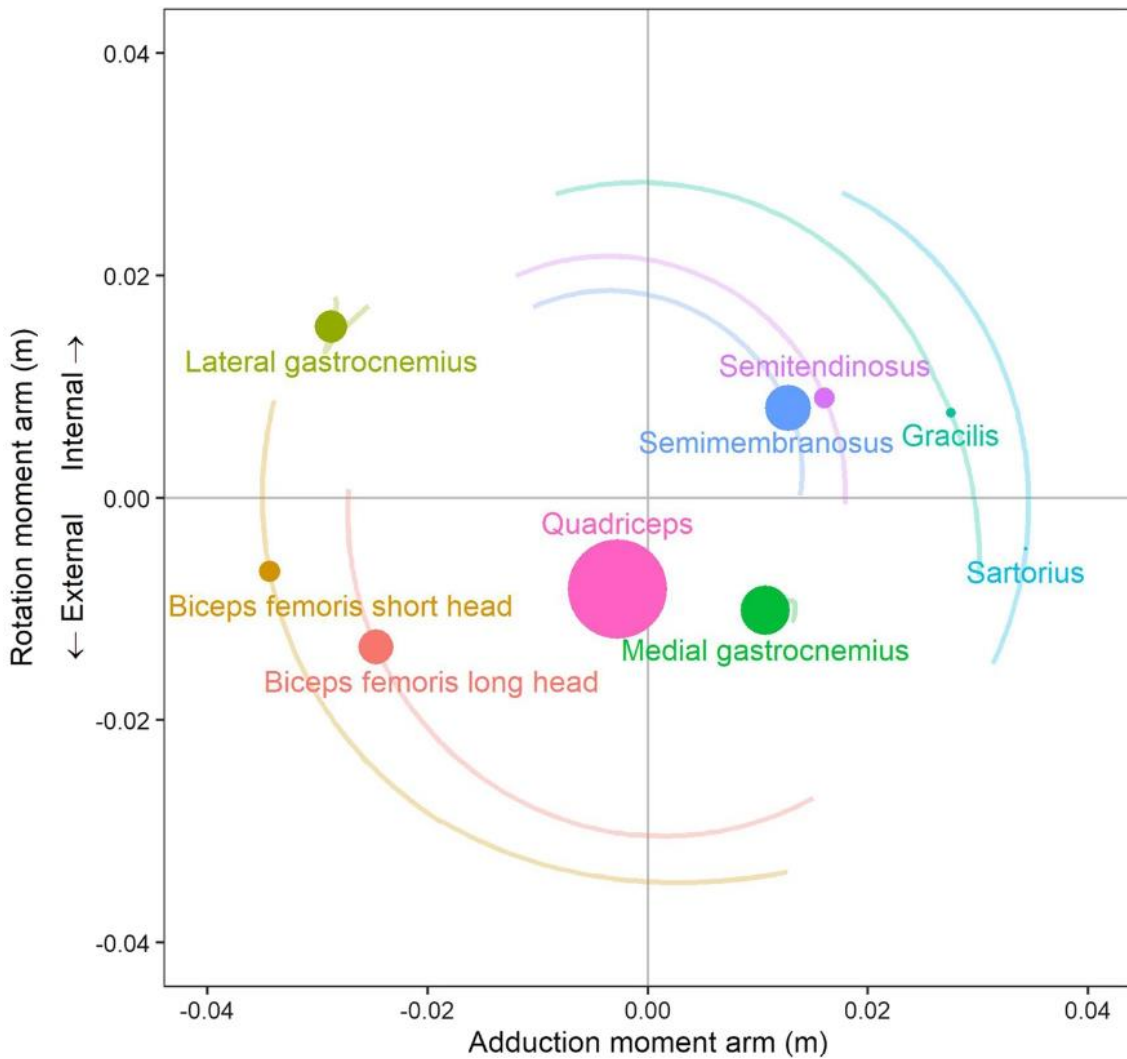
Por su naturaleza multifactorial, parece lógico pensar que los programas de prevención de lesión de LCA deberían incluir múltiples componentes para abordar cada uno de los FR predisponentes. En este sentido, una pregunta recurrente que los investigadores se han

venido haciendo a lo largo de los años es qué componentes son aquellos que debe incluir una intervención para ser efectiva.

A principios del presente año, la ‘Academy of Orthopaedic Physical Therapy’ y la ‘Academy of Sports Physical Therapy’ publicaron una actualización de las directrices previamente sugeridas en 2018 para la prevención de lesiones de rodilla, entre las que se discutieron los componentes que han de estar presentes en el diseño de programas de prevención de LCA (Arundale et al., 2023). Los autores concluyeron que dichos programas debían contener diversos elementos referentes al trabajo de fuerza y pliometría, así como ejercicios de control proximal (i.e. abordando segmentos proximales a la articulación de la rodilla), mientras que la inclusión de otros, como ejercicios de equilibrio, no era necesaria, siendo ineficaz cuando se presenta como el único elemento de dichos programas.

El entrenamiento de fuerza se ha propuesto como uno de los métodos más eficaces para la prevención de lesiones en general, en la medida en que supone una mejora de la funcionalidad neuromuscular de la musculatura implicada y de su coordinación, así como un mayor fortalecimiento de los tejidos adyacentes y la asociada reducción de las cargas a las que son sometidas las articulaciones (Beato et al., 2021; Lauersen et al., 2018). Concretando para la lesión de LCA, se ha observado cómo determinada musculatura puede ser considerada agonista del propio ligamento, contribuyendo, por lo tanto, a controlar las cargas a las que este es sometido; cargas acrecentadas, principalmente, por la acción del cuádriceps y los gastrocnemios (Figura 13) (Maniar et al., 2022). Por ejemplo, los isquiotibiales son los principales músculos encargados de, mediante una fuerte acción posterior, limitar la traslación anterior de la tibia. La problemática asociada a esta musculatura es que los momentos de fuerza que son capaces de aplicar cuando la rodilla se encuentra cercana a la extensión ( $<30^\circ$ , donde suele ocurrir la lesión de LCA) son notablemente inferiores a los de traslación anterior que realizan los cuádriceps en este mismo rango, donde se encuentra su punto de mayor ventaja mecánica. Esta desventaja de los isquiotibiales se puede ver compensada con la capacidad del sóleo para ejercer una significativa traslación posterior de tibia, la cual parece ser independiente del ángulo de rodilla. Por otro lado, en el plano frontal, gracias a su rol de abductor de cadera, el glúteo medio parece ser clave en el control del valgo de rodilla. De hecho, en algunos de los principales mecanismos lesionales de LCA, como son el aterrizaje unilateral y el CDD, la contribución del glúteo medio en el control del valgo de rodilla es 2.5 y 8 veces mayor que cualquier otro músculo, respectivamente. En el plano transversal, este junto a los dos vientres del bíceps femoral (cabeza larga y corta), parecen ser los principales protectores del LCA por su rol de rotadores externos. De este modo, atendiendo a la investigación al respecto y al razonamiento biomecánico, el apropiado entrenamiento de la musculatura de isquiotibiales, sóleo y glúteo medio que repercuta en sus capacidades para aplicar fuerza en los principales mecanismos lesionales parece ser un enfoque apropiado para prevenir la lesión de LCA.





**Figura 13.** Brazo de palanca de diferentes músculos con acción sobre la rodilla en los planos frontal (eje x) y transversal (eje y). Los círculos representan el brazo de palanca de cada músculo en 30 grados de flexión de rodilla; el tamaño del círculo es proporcional a la sección de área transversal del músculo. Las líneas representan los cambios en los brazos de palanca a lo largo de la flexión completa de rodilla (0 a 120 grados). Extraído de (Maniar et al., 2022).

El entrenamiento de pliometría también ha sido propuesto frecuentemente como una intervención eficaz para la prevención de lesiones, considerándose un componente importante en la lesión específica de LCA (Arundale et al., 2022). Este tipo de entrenamiento parece ser una estrategia eficiente para mejorar no solo el rendimiento de acciones cortas de alta intensidad, como el salto, el esprín o el CDD, sino que debido a las adaptaciones que favorece a nivel de unión musculo-tendinosa, estimula una mejor y más eficiente absorción de fuerzas en este tipo de acciones (Watkins et al., 2021). Además, la preactivación de la musculatura adyacente como resultado a una exposición regular a ejercicios pliométricos facilita la transferencia de energía y la transmisión de fuerzas, lo cual deriva en una mayor eficiencia mecánica. A su vez, estas adaptaciones tendrían la capacidad de repercutir positivamente en los que son las principales acciones que predisponen a la lesión de LCA.

Con unos mecanismos biomecánicos bastante bien definidos, también se ha sugerido que, en el entrenamiento de aterrizajes, saltos y cambios de dirección, las intervenciones dirigidas a prevenir la lesión de LCA deben estar altamente impregnadas por una perspectiva de corrección técnica, dirigida a mejorar la calidad de movimiento del futbolista (Dischiavi et al., 2022). Parece razonable pensar que si hay determinados movimientos que están asociados a la lesión (e.g. valgo de rodilla), intervenciones diseñadas para evitarlos podrían reducir notablemente su incidencia. Dejando de lado el pertinente debate respecto a si estos movimientos son más una causa o una consecuencia de la lesión, por otro lado, conviene también reflexionar sobre si, a nivel práctico, su erradicación resulta un objetivo realista. En un deporte tan complejo y donde el nivel de interacción entre jugadores y el resto de elementos (e.g. oponentes, balón, compañeros) es tan amplio, el jugador constantemente tiene que percibir información procedente del entorno, procesarla en un muy limitado espacio temporal, y posteriormente generar respuestas motrices en la forma de acciones de muy alta intensidad. A menudo observamos cómo cuando no se dispone del tiempo necesario para ejecutar el plan motor y la acción demandada requiere ser efectuada a máxima intensidad, la capacidad del deportista para evitar maniobras contraindicadas es reducida. Es por ello por lo que hay otra parte de investigadores y profesionales en el ámbito que sugieren un enfoque alternativo donde más que evitar este tipo de patrones, lo conveniente sería construir un deportista resiliente que fuera capaz de asumirlos de forma segura. No obstante, un enfoque no debería ser excluyente del otro, y esto debería reflejarse en las estrategias de intervención. Por un lado, proveer al futbolista de herramientas para mejorar su calidad de movimiento, reduciendo la exposición a este tipo de movimientos potencialmente lesivos; y al mismo tiempo estimular su sistema musculoesquelético para hacerlo resistente a los mismos, una vez estos sean inevitables.

Para una mayor efectividad en su propósito, el trabajo de corrección técnica dirigido a mejorar la calidad de movimiento en acciones dinámicas debe ir acompañado de conocimiento de resultados (CR) al deportista. Este CR parece ser clave para el aprendizaje y la adquisición de patrones más seguros, y requiere un instructor formado con las habilidades suficientes tanto para identificar patrones anormales, como para corregirlos mediante la transmisión de información apropiada. El CR puede ser aportado, de manera general, a través de un foco interno (FI) o externo (FE). Cuando el foco se centra en los movimientos corporales, se dice que el CR tiene un FI (Benjaminse et al., 2015). Al contrario, cuando la atención del deportista se dirige al resultado o a los efectos del movimiento, se dice que este posee un FE. Un ejemplo de uno y otro podría darse en un futbolista al que se le pide realizar un salto vertical máximo tras caída de cajón (DVJ). Para realizarlo, podríamos darle las siguientes instrucciones: “tras caer del cajón, realiza un salto vertical en el que tu cabeza llegue lo más alto posible”. Alternativamente, podríamos indicarle: “tras caer del cajón, realiza un salto vertical en el que debes intentar cabecear el balón suspendido sobre tu cabeza”. En el primer caso, el CR tendría un FI, mientras que en el segundo sería FE. Una creciente evidencia muestra que el CR es más eficaz cuando se aporta mediante FE respecto a FI. Otras estrategias como la utilización de métodos basados en el aprendizaje implícito (i.e., donde el objetivo es minimizar el

CR aportado de forma declarativa, explícita), o de planteamientos que propicien una mayor motivación intrínseca por la práctica, parecen ser componentes de gran importancia en la optimización del aprendizaje motor (Benjaminse & Verhagen, 2021). Muestra de todo lo anteriormente argumentado son los prometedores resultados de programas de prevención basados en la corrección técnica en deportistas en general, y en deportes de equipo en particular (Ford et al., 2015; Laughlin et al., 2011), en lo que a reducción de FR de LCA se refiere. A pesar de ello, es un campo de investigación aún infrainvestigado en el ámbito del fútbol.

### Programas de prevención

Aparte de tratar de dilucidar los componentes que programas efectivos deben incluir, una gran masa de la investigación también ha dirigido esfuerzos a determinar la eficacia de programas de prevención completos, comúnmente como propuestas para ser integradas en los calentamientos. Algunos de estos programas incluyen el FIFA 11 y FIFA 11+, HarmoKnee, Knäkontroll, PEP, Sportsmetrics™, o los propuestos por (Caraffa et al., 1996; Heidt et al., 2000; LaBella et al., 2011; Olsen et al., 2005; Petersen et al., 2005), los cuales han mostrado cierta eficacia en la reducción de LCA en diferentes cohortes de deportistas (Arundale et al., 2023).

Sin embargo, el nivel de evidencia en relación a estos programas resulta mucho más escaso cuando se intenta afinar la búsqueda a futbolistas adultos. La última revisión sistemática al respecto es la publicada por (Grimm et al., 2015). No obstante, esta revisión presenta esencialmente dos grandes limitaciones por la cual los hallazgos encontrados no ayudan a clarificar la pregunta de investigación: (1) solo incluyen ECA, y (2) solo analizan la efectividad de los programas en su capacidad para reducir la IL de LCA. Respecto a la primera limitación, cabe destacar la extrema dificultad de desarrollar un ECA de calidad en el contexto de un equipo de fútbol, donde el tiempo, y a menudo los recursos son limitados. Igualmente, resulta altamente complicado conformar dos grupos aleatorizados donde los propios jugadores no sean conscientes del grupo al que han sido asignados, para llevar a cabo dos intervenciones diferenciadas. Además, en el caso de que las intervenciones sean preventivas, la necesidad de tener un grupo control (GC) que no se beneficiaría de sus potenciales efectos beneficiosos presentaría un problema ético difícil de evadir. De este modo, en dicho contexto específico, a pesar de estar considerados en escalones inferiores en la pirámide de la evidencia científica, otros diseños como los estudios no aleatorizados o los de un solo grupo, cuando se aplican medidas apropiadas para corregir sus limitaciones inherentes (por ejemplo, ajustando los resultados a las diferencias encontradas en el pretest y aportando métricas como el mínimo cambio relevante (MCR)), son opciones que no deberían ser descartadas.

En relación a la segunda limitación, a pesar de las devastadoras consecuencias de las lesiones de LCA su incidencia es baja, lo que hace igualmente difícil llevar a cabo estudios longitudinales donde los números permitan detectar diferencias significativas. Para obtenerlas se necesitaría o bien de un tiempo de seguimiento muy prolongado, o bien

de una muestra lo suficientemente amplia para poder analizar un número suficiente de lesiones. Considerando que, en promedio, cada equipo de fútbol sufre una lesión por cada dos temporadas, esto supone una limitación bastante importante. Alternativamente, identificar los efectos de dichas intervenciones en determinados indicadores de riesgo puede suponer un análisis pertinente. Sin embargo, la última revisión que analiza estas dos medidas de efectividad (i.e. efecto en incidencia y FR) en futbolistas es una revisión narrativa publicada por (Alentorn-Geli et al., 2009b). Asimismo, identificada esta carencia en la literatura, como parte de la presente tesis se propuso aportar, mediante una revisión sistemática actualizada de la literatura, información útil y aplicable respecto a estrategias eficaces preventivas en jugadores de fútbol adultos.

### La adherencia como piedra angular de cualquier programa

El modelo de Finch para la prevención de lesiones deportivas, dividido en seis etapas, se presenta como una actualización del propuesto por (Van Meche et al., 1992) basado en cuatro. Dentro de las limitaciones de su propuesta, que Finch identifica y que utiliza como justificación del modelo actualizado se encuentra la de no considerar los problemas referentes a la implementación de un programa de prevención para ser llevado a la práctica; esto es, al contexto real, una vez se ha comprobado eficaz desde un punto de vista de investigación. Si tras llevar a cabo un elaborado y bien diseñado ECA hallamos que un programa de prevención A se muestra efectivo para reducir la IL de LCA en futbolistas semiprofesionales con un nivel de confianza del 95%, esto solo garantizará que, si un preparador físico lo aplica a un grupo de futbolistas de características muy similares a los participantes de dicho estudio, solo puede esperar una reducción similar siempre y cuando A se lleve a cabo exactamente bajo las mismas condiciones que se llevó en el ECA: esto es, misma frecuencia, volumen o intensidad de la intervención. Sin embargo, su implementación va a verse determinada por las características del contexto donde ha de ser aplicado, que a menudo dista mucho del artificialmente creado para llevar a cabo los estudios de investigación.

Es por ello por lo que un determinado programa que se ha visto efectivo bajo condiciones controladas y muy específicas, aisladas del contexto de un equipo de fútbol, puede ser completamente ineficaz en la realidad en que ha de implementarse y, por lo tanto, no servirá de ninguna utilidad a preparadores físicos, fisioterapeutas, jugadores y demás miembros interesados en la prevención de lesiones. Una métrica que puede revelar información valiosa al respecto sería el nivel de adherencia al programa de los deportistas evaluados. Además, para que un ECA que pretenda evaluar esta eficacia en el contexto real se considere en bajo riesgo de sesgo debería analizar el efecto mediante un análisis por “intención de tratar” (ITT) (Sterne et al., 2019). Frente al análisis “por protocolo”, que solo analiza resultados en aquellos participantes que se adhirieron a la intervención, el ITT debería: (1) analizar a los participantes de acuerdo al grupo al que fueron asignados de forma aleatoria, independientemente de la intervención que llevaran a cabo, y (2) incluir a todos los participantes aleatorizados en los resultados, incluidos aquellos que

tuvieron que interrumpir la intervención por algún motivo. Los hallazgos esperados de este análisis podrán revelar, por ejemplo, la ineficacia de una intervención debido a una difícil implementación en el contexto real. Desafortunadamente, y como se advierte en la segunda revisión sistemática de la presente tesis, existe una frecuente falta de transparencia en la información relativa a los análisis llevados a cabo y los niveles de adherencia de los participantes a las intervenciones estudiadas en la investigación referente a prevención de LCA en futbolistas adultos.

Para ejemplificar esta idea, el FIFA 11+ es un programa de calentamiento que se ha mostrado efectivo en la reducción de lesiones de LCA en la literatura (Figura 14). (Silvers-Granelli et al., 2015) reportó una reducción del 46% en la incidencia, donde por cada 70 futbolistas a los que se le aplicaba la intervención se conseguía prevenir 1 lesión de LCA. Teniendo en cuenta los atractivos efectos no solo en la reducción de lesiones de LCA, sino de lesiones en general (Sadigursky et al., 2017), resulta sorprendente que solo un 10% de las organizaciones que representan a la distintas federaciones nacionales de fútbol que son miembros de la FIFA hayan implementado el programa en sus rutinas (Bizzini et al., 2013). El excesivo tiempo requerido para la ejecución del FIFA 11+ (20-25 min), así como el hastío que suscita y los niveles de dolor muscular y fatiga que genera en algunos futbolistas son los principales motivos que justifican su insuficiente implementación (Bizzini et al., 2013; O'Brien et al., 2017). De este modo, queda fácilmente representado cómo el hecho de mostrar niveles adecuados de eficacia en un entorno controlado de investigación no los garantiza en el contexto real donde ha de aplicarse la intervención, perfilándose así la adherencia a la misma como una de sus características fundamentales (Arundale et al., 2022; McKay & Verhagen, 2016).



**Figura 14.** Programa FIFA 11+ para la prevención de lesiones en fútbol.

### Conflicto rendimiento y lesión

Una de las principales estrategias para garantizar la adherencia es conseguir el compromiso del futbolista, así como la aceptación por parte del entrenador y resto de departamento técnico y de rendimiento. Como se ha expuesto al inicio de la introducción, el rendimiento en fútbol depende de diversos factores, motivo por el que el proceso de entrenamiento debe atender a objetivos técnico-tácticos, físicos, nutricionales o psicológicos. Considerando que el aspecto técnico-táctico probablemente sea el que mayor incidencia tiene en el rendimiento final del equipo, resulta comprensible el hecho de que se le dedique un gran porcentaje del tiempo de entrenamiento. En un escenario ideal, donde el tiempo fuera ilimitado, no existiría conflicto alguno pues cada componente podría ser trabajado sin restricciones. No obstante, la realidad es bien diferente: el tiempo es limitado y, como consecuencia, su distribución ha de ser cuidadosamente estudiada para no pasar por alto ningún componente importante en la constante búsqueda de la optimización del rendimiento.

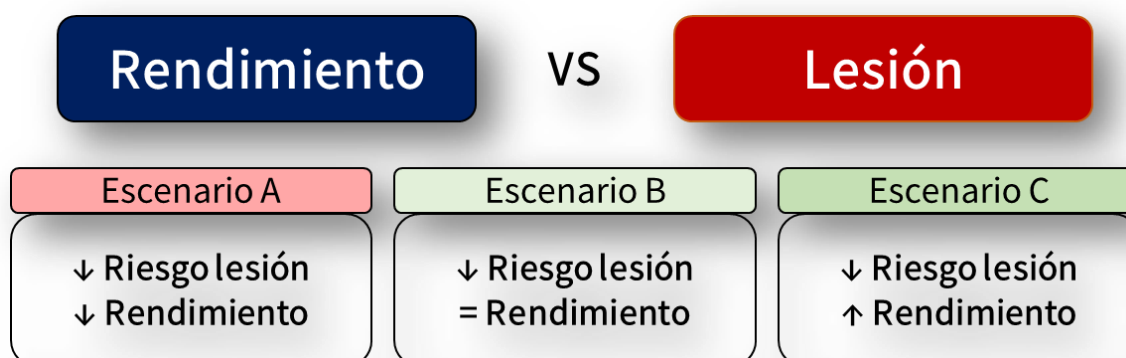
En este sentido, el término “prevención de lesiones” a menudo no suscita el interés necesario y, por lo tanto, no recibe la atención y dedicación requerida para que las intervenciones dirigidas a dicho propósito sean aceptadas e implementadas en contextos de alto rendimiento. Esto resulta especialmente visible cuando el programa trata de abordar una lesión que, por lo general, es bastante infrecuente. Además, si bien jugadores más experimentados o con un amplio historial de lesiones podrían presentar una mayor predisposición hacia este tipo de intervenciones, el interés que puede generar en aquellos más jóvenes o que nunca han sufrido una lesiones de cierta gravedad puede no ser suficiente. Más allá del debate acerca de si debe existir una clara y bien definida distinción entre lo que es optimización del rendimiento y lo que es prevención de lesiones, parece razonable pensar que aquellas intervenciones que presentarán una mejor recibida, y sobre las que se debería poner el foco son aquellas que repercuten positivamente tanto en una, como en otra.

Concretamente para la prevención de lesión de LCA, como se ha comentado previamente, intervenciones de modificación técnica han mostrado efectos prometedores en la reducción de riesgos, especialmente cuando estos se dirigen a corregir patrones potencialmente lesivos en los principales mecanismos de lesión: aterrizajes de saltos y CDD (Dos’Santos, Thomas, Comfort, et al., 2021; Dos’Santos, Thomas, et al., 2019b; Ford et al., 2015; Laughlin et al., 2011). Recientemente han sido publicados interesantes análisis que han ayudado a determinar, desde un punto de vista biomecánico, qué patrones están relacionados con el rendimiento del CDD, y cuáles lo están con las cargas que asume la rodilla y el LCA (Fox, 2018; Havens & Sigward, 2015). Durante un CDD hay patrones cuya corrección técnica repercute positivamente en los dos. Por ejemplo, si durante el contacto con el suelo el futbolista presenta determinados niveles de inclinación y rotación del tronco que favorezcan que este se dirija hacia la nueva dirección de desplazamiento, el vector de FRS generará un menor MAR, por lo que se reducirá la tensión soportada por el LCA. Al mismo tiempo, esta inclinación y rotación del tronco permitirá que el vector de FRS resultante se oriente de manera más efectiva hacia la componente horizontal, lo que optimizará la aplicación de fuerza hacia la nueva dirección del movimiento, facilitando a su vez un mayor aprovechamiento del momento por parte del tobillo en esta aplicación de fuerzas. En consecuencia, dar CR al futbolista respecto a su orientación del tronco parece una indicación clara a través de la cual el CDD se realizará de forma más rápida y, además, segura.

Por otro lado, existen otros patrones en los que podría existir un cierto conflicto entre rendimiento y lesión. Siguiendo con el ejemplo del CDD, sería el caso del nivel de flexión de rodilla alcanzado durante el último apoyo. Desde el punto de vista de prevención, una mayor flexión de rodilla en el plano sagital supone una mayor amortiguación a través de una mejor absorción de las FRS, lo que repercute en una menor tensión sobre el LCA. No obstante, esta mayor amortiguación también puede aumentar el tiempo de contacto con el suelo en este último apoyo, lo que influye negativamente sobre el rendimiento. En esta segunda situación, antes de dar un CR al futbolista pensando exclusivamente en la prevención de LCA, donde la indicación dirigida a flexionar más la rodilla sería

pertinente, convendría hacer un análisis en paralelo del posible detrimento que esta podría causar en el rendimiento. El jugador sobre el que queremos intervenir... ¿es un extremo ‘encarador’ cuyo juego depende en gran medida de la capacidad para regatear mediante rápidos CDD, y volverse lento en este tipo de acciones podría mermar sus cualidades en el campo? O, por el contrario, ¿se trata de un centrocampista altamente implicado en situaciones de CDD donde, perder habilidades en esta capacidad implicaría llegar tarde constantemente a las presiones que ha de ejercer sobre jugadores rivales? Antes de intervenir es aconsejable realizar un profundo análisis de riesgos y beneficios, tratando de ponderar el riesgo relativo del jugador para sufrir una lesión de LCA, por un lado, y los posibles perjuicios de una pérdida de rendimiento del CDD en competición, por el otro.

Para una mejor implementación que garantice una mayor adherencia del futbolista al programa diseñado para prevenir la lesión de LCA parece que una intervención debería, además de reducir el riesgo de sufrir una lesión poco frecuente en fútbol, potenciar el rendimiento de acciones tan determinantes como el CDD (Figura 15). O, en el menor ambicioso de los escenarios, no empeorarlo. Es así como, en última instancia, el futbolista se beneficiará de los efectos preventivos sugeridos por el estudio de investigación a través del que se propone la intervención. Esta perspectiva es la que impregnó el diseño del programa de modificación técnica *Safe Landing*, objeto del cuarto estudio de la presente tesis doctoral y que se describirá en la próxima sección.



**Figura 15.** Para mejorar la predisposición e incrementar la adherencia del deportista hacia un programa de prevención, se proponen los escenarios C (ideal) o B, donde la reducción del riesgo de lesión no se produce en detrimento del rendimiento. De hacerlo (escenario A), su implementación será difícil, cuando no indeseable.





---

## CAPÍTULO 2

### OBJETIVOS

---

En los siguientes párrafos se detallarán el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis doctoral, las cuales han guiado el cronograma y el curso de las actividades realizadas.

## **2.1 Objetivo general**

Diseñar un protocolo integral de campo dirigido a evaluar los FR de lesión de LCA en futbolistas, así como a mitigarlos mediante estrategias preventivas fácilmente aplicables, considerando las frecuentes limitaciones de equipamiento, espacio y tiempo presentes en el contexto de un equipo de fútbol.

## **2.2 Objetivos específicos**

Para el abordaje del objetivo general, que en un lenguaje más llano se podría sintetizar en “proveer a preparadores físicos, fisioterapeutas y miembros de cuerpos médicos y de rendimiento de herramientas para reducir la IL de LCA de sus futbolistas”, se proponen los siguientes objetivos específicos.

*2.2.1 Realizar una primera revisión sistemática de la literatura para conocer los diferentes test utilizados para evaluar variables asociadas con el riesgo de lesión de LCA en futbolistas en sus principales mecanismos: aterrizaje de salto y cambio de dirección.*

Como se ha discutido anteriormente, la literatura abordando la lesión de LCA en general y la identificación de riesgos que la predisponen en particular es amplia. La cantidad de variables que se han relacionado con la lesión es igualmente extensa. Con esta primera revisión se pretende obtener una detallada panorámica de todas aquellas que podrían manifestarse en los mecanismos lesionales más comunes en fútbol (i.e. aterrizaje de salto y CDD), en la medida en que estas acciones específicas se presumen necesarias para que la lesión se desencadene.

Conociendo estas variables se podrá proceder a la elaboración de una batería de test que tratará de identificar las más útiles, fiables e informativas.

*2.2.2 Diseñar una batería de campo para identificar riesgos de lesión de LCA fácilmente aplicable en el contexto de un equipo de fútbol.*

Tras los hallazgos recopilados como resultado de la primera revisión se tratará de crear una batería de test de campo minimalista con la que obtener un perfil de riesgo del jugador de sufrir una lesión de LCA. Por minimalista se entiende el concepto de batería mínima; esto es, una batería que consiga captar la información más relevante con el menor número de test empleados. Este planteamiento se justifica por varios motivos sobre los que se ha discutido en la introducción: el limitado tiempo disponible dentro del proceso de entrenamiento del que participa el jugador de fútbol; el riesgo asumido en la ejecución de cualquier test que, si bien puede ser mínimo, nunca es cero; los limitados recursos de equipamiento que existen en determinados contextos, especialmente no profesionales; y

la exigencia de tiempo requerida para la obtención, análisis e interpretación de datos por parte de los profesionales encargados de este tipo de evaluaciones.

En este sentido, se intentará crear una batería que se ajuste apropiadamente a estas limitaciones características del contexto de estudio en el que se desarrolla la tesis.

### *2.2.3 Realizar una segunda revisión sistemática de la literatura para conocer las estrategias de intervención más efectivas y eficientes para la prevención de lesión de LCA en futbolistas.*

Existe un cierto paralelismo entre este objetivo y el 2.2.1, pues básicamente se pretende recopilar la información más relevante respecto a intervenciones de ejercicio físico diseñadas para prevenir la lesión de LCA, en un ámbito que tradicionalmente también ha suscitado un elevado interés. Dado que una intervención puede ser efectiva no solo reduciendo la incidencia, cuya experimentación presenta, por otro lado, serias dificultades y limitaciones (véase el apartado *Consideraciones metodológicas en la identificación de riesgos*), sino también reduciendo sus FR, la revisión planteará una perspectiva que considere estos dos escenarios. Curiosamente, a pesar de ser un tema candente, en mi conocimiento no existe ninguna revisión sistemática que considere estos dos resultados de interés específicamente en jugadores de fútbol. La más reciente que los considera es una revisión narrativa publicada hace 15 años, por lo que una actualización sistemática de la literatura se considera pertinente.

Por otro lado, con el objetivo de aportar una detallada caracterización de las intervenciones incluidas, se discutirán importantes aspectos como la fiabilidad de las variables que demuestran su eficacia, la magnitud de estos cambios respecto a los que se podrían considerar clínicamente relevantes, la formación y experiencia del supervisor de la intervención, así como la calidad del CR aportado y los niveles de adherencia con la misma, entre otros. Esta última característica es especialmente importante, dado que permite sugerir el potencial de implementación del programa en un contexto real de entrenamiento. En una tesis que pretende transferir conocimiento al campo este enfoque se consideró fundamental.

### *2.2.4 Desarrollar una intervención eficiente capaz de corregir factores de riesgo de lesión de LCA en futbolistas.*

Finalmente, con la información obtenida de la segunda revisión sistemática se pretende elaborar una intervención efectiva para la prevención de la lesión de LCA utilizando los mínimos recursos materiales y optimizando al máximo el tiempo exigido para su realización. Por los mismos motivos esgrimidos en el objetivo 2.2.2, para que una intervención se acabe aplicando en un contexto real de entrenamiento esta debe encajar en el planeamiento del microciclo de entrenamiento, sin ocasionar incompatibilidades con contenidos que, razonablemente, se podrían considerar de mayor importancia (e.g. entrenamiento técnico-táctico y condicional). Además, no debería exigir equipamientos prohibitivos para contextos no profesionales, ni suponer un estímulo físico excesivo que interfiriera con los procesos de adaptación y recuperación del futbolista. Por otro lado,

pero en una línea de argumentación similar, la adopción de mecanismos más seguros nunca debería ocasionar un deterioro en el rendimiento del jugador, por no entrar en una peliaguda disyuntiva de rendimiento y prevención en la que la segunda, por los motivos ya expuestos, podría verse comprensiblemente perjudicada.

Teniendo en cuenta todos los limitantes no solo materiales, sino incluso culturales que rodean el fútbol como deporte, las posibilidades para intervenir se acotan considerablemente; el foco del programa de prevención de LCA, por tanto, además de mostrar niveles apropiados de eficacia, ha de ajustarse a todos estos condicionantes.

Para finalizar la sección, cabe mencionar que los objetivos específicos no se presentan ordenados según la cronología de acciones, sino mediante las dos fases más o menos diferenciadas que se infieren del objetivo general. En este sentido, los objetivos 2.2.1 y 2.2.2 se dirigen a hallar y proponer herramientas que permitan identificar riesgos de lesión de LCA, mientras que los objetivos 2.2.3 y 2.2.4 se enmarcan en la ulterior fase enfocada a la intervención; esto es, aportar soluciones que, mediante la ejecución de programas basados en ejercicio físico, contribuyan a prevenir la lesión.



---

**CAPÍTULO 3**  
**CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS GENERALES**

---

Como se ha mencionado en el Capítulo 2, los objetivos específicos se podrían dividir en dos bloques: el primero de ellos, dirigido a identificar test asociados con riesgos de lesión de LCA; y el segundo, a desarrollar una propuesta fácilmente aplicable en el contexto de cualquier equipo de fútbol. Esta idea de aplicabilidad a cualquier contexto ha impregnado, de forma transversal, el completo desarrollo de la presente tesis doctoral. Como se ha mostrado, la masa de investigación generada en torno a la lesión de LCA en fútbol es enorme, especialmente durante los últimos años. Si bien esta base de investigación ha servido para que, a día de hoy, tengamos una visión más detallada y precisa de sus factores predisponentes, la evidencia disponible proviene principalmente de estudios que raramente han considerado la naturaleza del contexto del fútbol en general, y por lo tanto han obviado las limitaciones económicas, materiales y/o temporales que lo caracterizan. La aplicación de este filtro de aparente simplicidad acota en gran medida, sin embargo, los objetivos de búsqueda.

Con esta idea se diseñó la primera revisión sistemática de la literatura (objetivo 2.2.1), cuyo propósito fue identificar el “estado del arte” en el ámbito en cuestión. Conscientes de que una cantidad elevada de los test y variables que tradicionalmente se han asociado a la lesión de LCA requieren equipamiento al que rara vez estructuras de fútbol tienen acceso (e.g.; dinamómetros isocinéticos para test de fuerza), y considerando las limitaciones que han impedido la determinación de FR concluyentes (véase *Identificando factores de riesgo individuales*), se optó por acotar la búsqueda a aquellos test que incluyeran una evaluación de los que son los principales mecanismos de lesión en fútbol: aterrizajes de saltos y CDD. Tras realizar una búsqueda documental en la base de datos PUBMED para artículos publicados en los últimos diez años (en aquel momento, los comprendidos entre 2009 y 2019) y siguiendo las directrices PRISMA (i.e. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), se elaboró una síntesis de resultados que permitió obtener una visión bastante detallada de los test que, en la literatura, se habían utilizado para identificar FR de LCA en tareas de aterrizaje y CDD en futbolistas de cualquier tipo (i.e. incluyendo jugadores de fútbol australiano, galeico, americano y rugby). La decisión para la inclusión de otros deportistas se fundamentó en que en estos deportes de equipo y oposición con características comunes podrían haberse desarrollado test y estrategias que, a pesar de no haber sido aún aplicadas al fútbol asociación, presentarían el potencial para hacerlo.

Con los hallazgos obtenidos de esta primera revisión sistemática unidos a nuevas investigaciones publicadas con posterioridad (Dos’Santos, McBurnie, et al., 2019), se desarrolló una batería de test de campo con la que se pretendía, a través de la mínima intromisión posible en el día a día de un equipo de fútbol, obtener la máxima información relativa a los riesgos de lesión de LCA de los jugadores. Para ello, y siguiendo el mismo marco teórico referente a los mecanismos lesionales, se planteó una batería que incluía los dos únicos test que mostraban valores aceptables de validez y fiabilidad y que, además, podían ser llevados a cabo con equipamiento básico y aplicable a cualquier contexto deportivo: el Landing Error Scoring System (LESS) (Padua et al., 2009) y el CMAS (Dos’Santos, McBurnie, et al., 2019), los cuales evalúan, de forma cualitativa, la

presencia o ausencia de factores cinemáticos comúnmente asociados a la lesión de LCA en tareas de DVJ (Tabla 2) y CDD (Tabla 3), respectivamente.

**Tabla 2.** Herramienta Landing Error Scoring System (LESS) para el análisis cualitativo de drop jumps.

Ítem	Variable	Observación (puntuación)			
1	Ángulo flexión rodilla	No (1)	Sí (0)		
2	Ángulo flexión cadera	No (1)	Sí (0)		
3	Ángulo flexión tronco	No (1)	Sí (0)		
4	Ángulo flexión plantar tobillo	No (1)	Sí (0)		
5	Ángulo valgo rodilla	Sí (1)	No (0)		
6	Ángulo flexión lateral tronco	Sí (1)	No (0)		
7	Anchura de apoyo – ancho	Sí (1)	No (0)		
8	Anchura de apoyo – estrecho	Sí (1)	No (0)		
9	Posición del pie – rotación interna	Sí (1)	No (0)		
10	Posición del pie – rotación externa	Sí (1)	No (0)		
11	Contacto inicial simétrico	No (1)	Sí (0)		
12	Amplitud de flexión de rodilla	No (1)	Sí (0)		
13	Flexión cadera en máx. flexión rodilla	No (1)	Sí (0)		
14	Flexión tronco en máx. flexión rodilla	No (1)	Sí (0)		
15	Amplitud valgo rodilla	Sí (1)	No (0)		
16	Amplitud articular	Rígido (2)	Moderado (1)	Suave (0)	
17	Impresión general	Pobre (2)	Promedio (1)	Excelente (0)	
Puntuación		Pobre >6	Moderado >5-6	Bien >4-5	Excelente ≤ 4

**Tabla 3.** Herramienta Cutting Movement Assessment Score (CMAS) para el análisis cualitativo de cambios de dirección entre 30 y 90 grados. CI: contacto inicial.

Ítem	Variable	Observación (puntuación)		
1	Estrategia frenado penúltimo apoyo	No (1)	Sí (0)	
2	Anchura del apoyo	Ancho	Moderado (1)	Estrecho (0)
3	Cadera rotada internamente (CI)	Sí (1)	No (0)	
4	Valgo de rodilla (CI)	Sí (1)	No (0)	
5	Pie rotado (CI)	Sí (1)	No (0)	
6	Posición tronco en plano frontal en relación con la nueva dirección	Lateral o rotado (2)	Erguido (1)	Medial (0)
7	Tronco erguido o inclinado hacia atrás	Sí (1)	No (0)	
8	Flexión de rodilla	Sí (1)	No (0)	
9	Valgo de rodilla	Sí (1)	No (0)	
10	Apoyo de retropié (RP) o antepié (AP)	RP (1)	AP(0)	
Puntuación		Pobre >5-6	Moderado >4-5	Bien ≤ 4

Concretamente, el equipamiento necesario y el que se utilizó para el estudio fueron 3 smartphones (de marca iPhone, aunque habría servido cualquier otra capaz de grabar, al menos, a 120 fotogramas por segundo en 1080 píxeles a alta definición), 3 trípodes,

balones, conos y un soporte manualmente elaborado para suspender el balón bajo el larguero de la portería (Figuras 16, 17, 18 y 19), además de un software para el análisis cualitativo posterior, que en este caso fue el software de acceso libre Kinovea. Con la inclusión de elementos dirigidos a mejorar la validez externa de las evaluaciones (e.g. inclusión del balón) (Fílder et al., 2022), se desarrolló un estudio transversal en dos equipos de fútbol semiprofesionales a través del cual se trató de responder preguntas en relación a la fiabilidad de los test modificados para la evaluación de la calidad de movimiento en este tipo de futbolistas (intra e interobservador), la posible asociación y perfil de riesgo compartido entre tareas de aterrizaje de salto y CDD, y el análisis del perfil de riesgo de los dos aterrizajes en el DVJ. Estas dos últimas preguntas se consideraron especialmente pertinentes dadas las limitaciones temporales y la necesidad de sacar el máximo provecho de los mínimos recursos: si la asociación entre estas tareas resultara muy alta, la batería se podría limitar a un solo test para establecer el perfil de riesgo; de lo contrario, convendría incluir los dos para obtener un perfil completo en torno a los mecanismos.

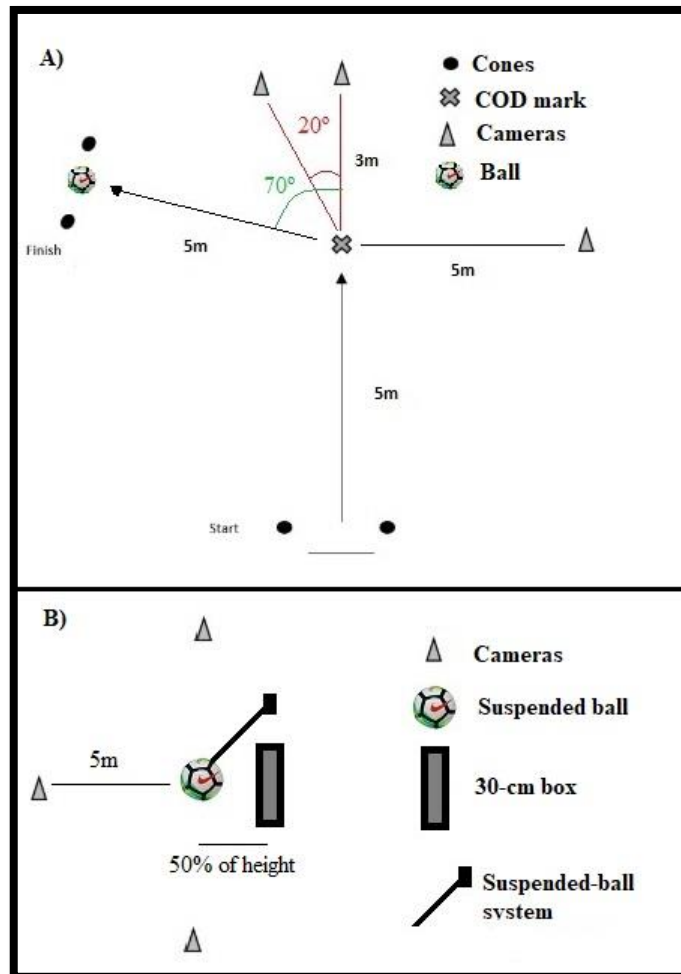


**Figura 16.** Jugador realizando el test de drop jump como participante del primer estudio transversal. En la imagen se puede observar el soporte que, anclado a la portería, sirvió para suspender el balón externalizando el foco de atención del futbolista en el salto.





Figura 17. Jugador realizando el test de cambio de dirección como participante del primer estudio transversal.



**Figura 18.** Configuración y disposición del equipamiento para la realización de los test de drop jump (A) y cambio de dirección (B).



**Figura 19.** Equipamiento utilizado para el desarrollo de la batería de test propuesta.

En relación al segundo bloque de objetivos específicos, este estaría dirigido a la parte de intervención, de desarrollo de programas y estrategias de ejercicio físico que permitieran, mediante la mejora de diferentes capacidades del futbolista, reducir en última instancia el riesgo de sufrir la lesión de LCA. Para ello, en primer lugar y siguiendo la dinámica del primer bloque, se desarrolló la segunda revisión sistemática de la literatura (objetivo 2.2.3): esta vez, de estrategias basadas en ejercicio físico dirigidas a prevenir la lesión de LCA. Uno de los principios básicos del entrenamiento es el de la especificidad del estímulo. Considerando que en términos de factores de rendimiento y, por extensión, de principales mecanismos de lesión, cada deporte tiene características inherentes que lo diferencian del resto, en esta segunda revisión se optó por acotar de manera más restrictiva la población objetivo a futbolistas compitiendo en fútbol asociación, y además en edad adulta para eliminar las posibles influencias madurativas. Se buscaban, por tanto, todos aquellos programas de ejercicio físico de al menos cuatro semanas que hubieran sido propuestos para prevenir lesiones de LCA; esto es, a través de la reducción directa de la incidencia, o a través de la reducción de riesgos comúnmente asociados con la lesión. Sin restricciones respecto al diseño de estudio utilizado, de modo que tanto ECA, como ensayos no aleatorizados o estudios de un solo grupo eran incluidos, en esta ocasión sí se llevó a cabo un detallado análisis del sesgo para estratificar los hallazgos en función de la potencial extrapolación de los resultados. Dada la enorme cantidad de variables

analizadas como resultado de interés para las intervenciones incluidas, así como la gran heterogeneidad en la evaluación de cada una de ellas, se consideró inadecuado llevar a cabo un metanálisis que pudiera derivar en conclusiones erróneas. De este modo, con este trabajo se intentó analizar de forma eminentemente cualitativa las intervenciones que, hasta 2021, habían sido publicadas en las grandes bases de datos (i.e. CINAHL, Cochrane Library, Pubmed, Scopus, SPORTDiscus y Web of Science), enfatizando importantes aspectos relativos a la eficacia y la aplicabilidad al contexto de un equipo de fútbol.

Finalmente, se llevó a cabo el diseño de una intervención que, incluyendo los elementos que se habían identificado como claves en esta segunda revisión sistemática, pretendía reducir riesgos de lesión de LCA en futbolistas. Para ello se diseñó un programa de 6 semanas, realizado 3 veces por semana incluido como parte del calentamiento. Básicamente, el contenido de la intervención se basó en la modificación de la técnica en ejercicios de aterrizaje, pliometría y CDD, en el que se puso un importante énfasis en la calidad y en la forma en que se aportaba el CR. El programa consistió en tan solo 18 sesiones de 9 minutos en promedio de duración y no requirió ningún tipo de material que no se encuentre fácilmente en cualquier equipo de fútbol (i.e. balones, conos). Con ello, lo que se pretendía es que fuera fácilmente implementable, facilitando así una alta adherencia con el mismo. A través de un estudio no aleatorizado, donde un equipo sirvió de control (i.e. realizó un protocolo de calentamiento estandarizado, de idéntica duración) y el otro, por conveniencia, llevó a cabo el *Safe Landing*, se compararon las diferencias entre grupos para la batería de test propuesta en el estudio transversal, siguiendo exactamente el mismo protocolo; esto es, el DVJ a través del LESS y un CDD de 70 grados a través del CMAS, los cuales se evaluaron la semana anterior (pre) y posterior (post) a las 6 semanas de intervención. Para la comparativa, con el fin de corregir determinadas limitaciones inherentes a este tipo de diseños, se llevó a cabo un análisis de la covarianza (ANCOVA) con los resultados en el pretest como covariable (O'Connell et al., 2017). Además, cada uno de los resultados de interés fue interpretado con relación al MCR. De este modo, si bien los estudios no aleatorizados presentan debilidades inabordables a nivel metodológico frente a un ECA, mediante un diseño y análisis estadístico apropiado estas se reducen notablemente constituyéndose, como se ha comentado con anterioridad, como el único diseño viable para estudiar poblaciones tan específicas como futbolistas de nivel semi- o profesional.

Conjuntamente, mediante este proceso se pretendía proveer a miembros de cuerpos médicos y de rendimiento de equipos de fútbol de cualquier nivel competitivo de herramientas que, cumpliendo con los niveles de calidad exigidos, les permitiera tanto evaluar a sus jugadores respecto al riesgo de sufrir una lesión de LCA, como intervenir sobre estos factores de una forma asequible y adecuadamente ajustada a la que es su realidad deportiva. En la Tabla 4 se presenta un esquema general de la metodología utilizada en los cuatro artículos incluidos en la tesis.

**Tabla 4.** Resumen de la metodología principal utilizada en cada uno de los artículos incluidos en la tesis. NA, no aplicable; DVJ, drop vertical jump; CDD70, cambio de dirección de 70 grados; LESS, Landing Error Scoring System; CMAS, Cutting Movement Assessment Score; CCI, coeficiente de correlación intraclase; CV, coeficiente de variación; TE, tamaño del efecto; ITT, análisis por intención de tratar (del inglés, intention-to-treat analysis); EEM, error estándar de la media; ANCOVA, análisis de la covariable.

	<b>Artículo 1</b>	<b>Artículo 2</b>	<b>Artículo 3</b>	<b>Artículo 4</b>
<b>Título</b>	Sports task including landing or cutting manoeuvres used to evaluate football players from an injury-prevention perspective: a systematic review.	Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (soccer) players: a systematic review.	Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening.	The Safe Landing warm up technique modification programme: An effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players.
<b>Referencia abreviada</b>	Olivares et al., (datos sin publicar)	Olivares et al., (2021)	Olivares et al., (2022)	Olivares et al., (2023)
<b>Diseño</b>	Revisión sistemática	Revisión sistemática	Transversal	Longitudinal
<b>Población / Artículos incluidos</b>	90 estudios incluidos evaluando 4.455 jugadores de diferentes modalidades de fútbol (edad: 13-35 años)	29 estudios incluidos evaluando 6.091 jugadores adultos de fútbol asociación (edad: 16-40 años)	42 futbolistas adultos de nivel semiprofesional (edad: 25.8±4.9 años, altura: 1.80±0.07m, masa: 76.0±8.9kg, >10 años de experiencia)	32 futbolistas adultos de nivel semiprofesional en un grupo control (edad: 24.3±4.9 años, altura: 1.78±0.08m, masa: 74.3±7.4kg) y otro experimental (edad: 25.5±4.0 años, altura: 1.80±0.07m, masa: 74.7±7.0kg), ambos con >10 años de experiencia
<b>Equipamiento</b>	NA	NA	Tres smartphones (iPhone 11), tres trípodes, 2 balones, 20 conos, caja para DVJ, soporte para suspender el balón, software Kinovea.	Tres smartphones (iPhone 11), tres trípodes, 2 balones, 20 conos, caja para DVJ, soporte para suspender el balón, software Kinovea.
<b>Test</b>	NA	NA	DVJ desde cajón de 30m, intentando rematar un balón suspendido. CDD70 con balón como referencia externa.	DVJ desde cajón de 30m, intentando rematar un balón suspendido. CDD70 con balón como referencia externa.

<b>Escalas de observación cualitativa</b>	NA	NA	LESS y CMAS	LESS y CMAS
<b>Variables de interés</b>	NA	NA	Puntuaciones de ítems individuales y global de las escalas LESS (dos aterrizajes) y CMAS.	Puntuaciones de ítems individuales y global de las escalas LESS (dos aterrizajes) y CMAS. Altura de salto en DVJ. Tiempo de contacto de último apoyo en CDD.
<b>Análisis estadísticos</b>	Sin metanálisis	Sin metanálisis.	Porcentajes de concordancia, coeficientes Kappa, CCI, y CV para análisis de fiabilidad. Chi cuadrado para diferencias entre variables categóricas. R de Pearson análisis correlacionales. Diferencias entre medias y TE de Hedges para diferencias entre variables.	Análisis por ITT. CCI, CV y EEM para análisis de fiabilidad. ANCOVA con pretest como covariable para diferencias entre grupos. Diferencias entre medias, TE de Hedges y CV para diferencias entre pre y post.



---

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

A continuación, en el presente capítulo se expondrán los artículos que componen la tesis en sus versiones aceptadas por las revistas (en el caso de aquellos que han sido publicados), incluyendo una traducción al español del resumen y de las palabras clave. Para su exposición se respetará el orden en el que fueron llevados a cabo y publicados.

### **Artículo 1**

**Sports tasks including landing or cutting manoeuvres used to evaluate football players from an injury-prevention perspective: a systematic review.**

Esta primera revisión, sin publicar, fue realizada en el año 2018 como trabajo final del Máster Universitario en Investigación en Actividad Física y Deporte de la Universidad de Granada.

### **Artículo 2**

**Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (soccer) players: a systematic review.**

Esta segunda revisión supuso el primer artículo publicado de la tesis, aceptado en el año 2021 en la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Dicha revista se sitúa en el primer cuartil de la categoría *Public, environmental and occupational health* del Journal of Citation Reports (JCR). Referencia APA:

Olivares-Jabalera, J., Fílder-Ruger, A., Dos'Santos, T., Afonso, J., Villa, F. della, Morente-Sánchez, J., Soto-Hermoso, V. M., & Requena, B. (2021). Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (Soccer) players: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph182413351>

### **Artículo 3**

**Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening.**

Este artículo de diseño transversal fue aceptado en el año 2022 en la revista *Physical Therapy in Sport*, situada en el segundo cuartil (primer tercil) de la categoría *Rehabilitation*, y en el tercer cuartil (segundo tercil) de la categoría *Sport Sciences* del JCR. Referencia APA:

Olivares-Jabalera, J., Fílder-Ruger, A., Dos'Santos, T., Ortega-Domínguez, J., Sánchez-Martínez, R. R., Soto Hermoso, V. M., & Requena, B. (2022). Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening. *Physical Therapy in Sport*, 56, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.pts.2022.05.015>

### **Artículo 4**

**The Safe Landing warm up technique modification programme: an effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players.**

Este cuarto y último artículo, de diseño experimental longitudinal, fue aceptado en el año 2023 en la revista *Journal of Sport Sciences*, situada en el primer cuartil de la categoría *Sport Sciences* del JCR.

Olivares-Jabalera, J., Fíler, A., Dos Santos, T., Ortega-Domínguez, J., Soto Hermoso, V. M., & Requena, B. (2023). The Safe Landing warm up technique modification programme: An effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 40(24), 2784–2794. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2193451>



## **Artículo 1: Sports task including landing or cutting manoeuvres used to evaluate football players from an injury-prevention perspective: a systematic review.**

### RESUMEN

El fútbol es un deporte popular con una alta incidencia lesional, donde la rotura de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones más preocupantes. En la mayoría de los casos, las roturas de LCA se producen en maniobras de aterrizaje o cambios de dirección. No está clarificado cuáles son las diferentes tareas deportivas disponibles para evaluar estas acciones. Así, el objetivo de esta revisión sistemática es analizar aquellas tareas que incluyen maniobras de aterrizaje y cambios de dirección comúnmente usadas para evaluar futbolistas desde el enfoque de la prevención de lesiones. Se llevó a cabo una búsqueda de la literatura en PUBMED desde la última década. Se encontraron 2552 artículos, de los cuales 233 fueron extraídos y 90 incluidos en la revisión. Un total de 4455 futbolistas han sido evaluados a través de 90 tareas que incluyen aterrizajes de saltos (saltos con contra-movimiento, saltos sin contra- movimiento, drop vertical jump, drop landing, saltos horizontales y saltos consecutivos) y 65 que incluyen cambios de dirección (cambios de dirección suaves, moderados y agresivos). Las principales variables analizadas para evaluar a los futbolistas correspondían a la biomecánica de la extremidad inferior. Dadas las ventajas que ofrecen las baterías de test que incluyen maniobras de aterrizaje o cambios de dirección, elaborar baterías incluyendo estas tareas específicas de fútbol es de gran importancia. Además, se deberían desarrollar tecnologías más accesibles económicamente para evaluar de forma más efectiva la calidad de movimiento de los futbolistas en un contexto más ecológico.

Palabras clave: aterrizaje, cambio de dirección, lesión, evaluación, fútbol, revisión sistemática.

### ABSTRACT

Football is a popular sport with a high injury incidence, where one of the most concerning injuries is ACL tear. In most cases, an ACL tear occurs during a cutting or landing manoeuvre. It is not clear which are the different sports tasks available to measure these actions. Thus, this systematic review aimed at analyze those tasks including landing and cutting manoeuvres commonly used to evaluate football players from an injury-prevention approach. A search of the literature was conducted on PUBMED from the last decade. A total of 2552 articles were found, where 233 were retrieved, and 90 included in the final analysis. A sum of 4455 football players have been evaluated through 90 different jump-landing (i.e. counter-movement jump, squat jumps, drop vertical jump, drop landing, horizontal jump and consecutive jumps) and 65 cutting (i.e. shallow, moderate and sharp changes of direction) tasks. Biomechanics of the lower limb were the main variables used to evaluate football players. Given the advantages that tasks including either jump-landing or cutting manoeuvres provide, elaborate test batteries

including these football-specific tasks is of critical importance. Furthermore, more affordable technologies should be designed to better evaluate athletes' quality of movement in a more ecological context.

Key words: landing, cutting, injury, screening, football, soccer, systematic review.

## INTRODUCTION

Football is one of the most popular sports, with more than 260 million players around the world (1). The number of registered footballers has increased by nearly a quarter since the year 2000, but particularly remarkable is the growth in women's football, where the number of registered female players has increased by 54% to 4.1 million (1).

Football is a sport with a high injury rate, considering that the injury incidence is around 8 injuries per 1000 player hours (2), with a 23% of injuries preventing the injured player from training or playing at least four weeks (3). On average, each player misses 37 days due to injury each season, what means that approximately 12% of the season is lost due to injury. 87% of the injuries usually affect the lower extremity, where the knee is the second most common injury location (2,3). Of the injuries to the knee, 39% are ligament sprains (3), being the ACL tear one of the most concerning injuries, which, in turn, is associated with a high risk of development of osteoarthritis (4).

Injuries caused by non-body contact are more prevalent than those caused by body contact, and the most common injury mechanisms are tackling, running, being tackled, shooting, twisting and turning, and jumping and landing (5). In fact, a systematic video analysis of 30 ACL-injury cases showed that 85% of the injuries were non-contact or indirect contact in nature, where the most common mechanism was performing a sidestep cut in a pressing situation (6). Re-gaining balance after kicking and landing after having headed the ball were the other most common mechanisms, all of them occurring during a landing situation (6). In all cases, a knee valgus could be observed at the moment of ACL injury. Johnston et al. (7) also found that the majority (72.5%) of the injuries suffered by a group of American football players were produced in a noncontact situation, where the most common athletic activity at the time of injury was a lateral movement (pivoting or cutting, 60% of the injuries), followed by landing from a jump (12%).

Due to the concerning consequences of football-related injuries, efforts have been made for detecting those athletes who are at greater risk of injury, which would allow targeted intervention that prevent injury (8). Biomechanical variables such as the knee abduction angle or ground reaction force have been related to injury of ACL (9). Therefore, injury prevention programmes have shown to have the potential to either change cutting task biomechanics by reducing neuromuscular deficits linked to ACL rupture (10) or be effective in reducing important variables like peak knee abduction moment or improving hip and knee flexion angles during a drop landing task (11). There are available in the literature many sports tests that have been used for screening purposes in different contexts, although the utilization of clinician-friendly or field-based evaluations has been

increasing popularity in recent years (12,13). The advantage of this physical performance tests is that they are easy to administer in any context and no expensive equipment is required for their implementation (13). Otherwise, the validity of the human observation depends on several performance and rating factors when compared to a 3D motion analysis in the evaluation of a drop jump. While the agreement between both methods tends to be excellent assessing slower, speed- controlled movements such as squats (14), it is poor with faster explosive movements such as drop jumps and cutting manoeuvres. Furthermore, the precision of observation may be also dependent on body region under analysis (15). For that reason, both laboratory and field-based tests can be useful and should be used in combination when possible.

Although the development of screening tools designated to evaluate athletes in order to elaborate effective prevention programs is of critical importance (16), it is not clear yet which are the different options available to assess jump-landing and cutting tasks either in a training or clinical or in a laboratory context. Attending to the fact that the majority of ACL injuries occur in landing and cutting actions (6,7), it sounds sensible that evaluate football players with tests including this sports-specific manoeuvres could help to better design tailored prevention programs. Moreover, given the complexity of detecting risk factors and the impossibility of doing this by using an only test, there is a need to establish in the literature which combination of tests is useful in which context (16), for which it is necessary to have a broad view of the different options available.

The purpose of the present study was, therefore, to systematically review the different sports tasks including landing and cutting manoeuvres that can be used to evaluate football players of any competitive level from an injury-prevention perspective. Moreover, we aimed at elaborate a detailed description of these tasks in order to provide an useful tool for coaches, fitness coaches and the rest of members who works in the field of injury prevention in football training.

## METHODS

### **Experimental approach to the problem**

A systematic review of the literature was conducted according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis guidelines (PRISMA). The protocol for this review was registered on the international register for systematic reviews (PROSPERO). A systematic search was conducted in order to compile those sports tasks including landing and cutting manoeuvres that have been commonly used in the literature to identify different risk factors of sustaining lower limb injuries, specifically focusing on knee injuries and ACL tear. The search was carried out in the database of PUBMED through the month of November, 2018, including new articles that had been published up to August 20, 2019. All the articles published in the range of ages from January 1, 2009 to August 20, 2019 were screened for inclusion. We have decided to delimit the search to this 10-years window mainly due to three facts: (1) the huge amount of published articles

in the topic; (2) the increasing interest in detecting risk factors of injury in the last decade (i.e. 2046 articles published between 1999 and 2009, and 3729 between 2009 and 2019); and (3) the increasing development of the technologies and their massive inclusion in the field of Sport Sciences. For this purpose, the following key words were used for the search strategy: (“change of direction” OR cutting OR jump OR hop OR landing) AND injury. All titles and abstracts obtained through this search were screened following the inclusion and exclusion criteria. Then, a second screening was conducted, retrieving the full-texts to clarify those studies where the eligibility criteria was not clear in the title or abstract.

Two authors (JO and VS) independently carried out the search process and collated the abstract. The same authors then screened the abstract and retrieved the full-texts, selecting articles based on the inclusion and exclusion criteria for the final inclusion. Those cases where a discrepancy existed were resolved by an in-depth discussion between the authors.

### **Study exclusion and inclusion criteria**

Included studies met the following criteria: (a) studies carried out with football players of any modality (Australian, American, soccer, rugby); (b) the football players were aged between 13 and 35; (c) evaluation of risk factors or variables related to injuries were one of the purposes of the studies; (d) they used at least one task which included a landing or cutting manoeuvre. Publications were excluded if met any of the following criteria: (a) football players were injured or had a severe injury two years before; (b) football players were younger of 13 or adults over 35 years; (c) the purpose of the evaluation was only focused on performance variables. Systematic reviews, pilot, in silico and in vitro studies were also excluded. There were no exclusion criteria according to the study design, due to the fact that an evaluation of risk factors of knee injury can be performed in such a variety of scenarios, and all contexts are in the scope of the present review.

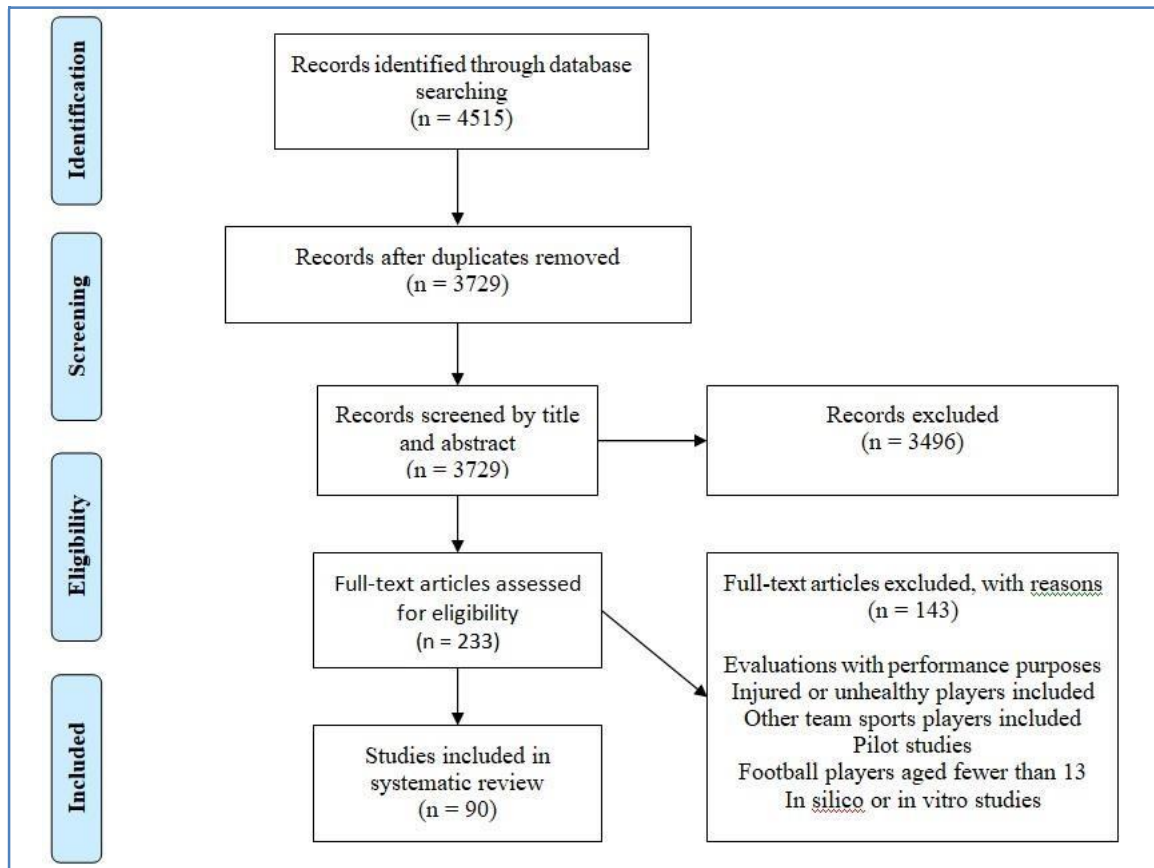
### **Data extraction**

Using a standardised set of abbreviations and reporting methods, the following information was extracted from the studies, including it in a data spreadsheet: task used, procedure, population, variables analyzed, equipment, reliability (if reported), association with injury (mainly in prospective cohort studies), and if the task was studied under fatigue or uncertainty conditions. Only directly measured reliability of the different tasks were addressed. Interpretation of the intraclass correlation coefficient (ICC) of reliabilities reported was in accordance with previous research by Koo & Li (17), where values  $> 0.9$  = excellent,  $0.75-0.9$  = good,  $0.5-0.75$  = moderate, and  $< 0.5$  = poor, and coefficients of variations (CV) values were considered acceptable if  $< 10\%$  (18). When possible, the technical error measurement (TEM) of the instruments was also reported.

## **RESULTS**

### **Search result**

Figure 1 depicts a flow chart of the results of the systematic review carried out. The search strategy in PUBMED produced a total of 4515 articles, where 782 were duplicated and hence, excluded for analysis. Titles and abstract of the remained 3729 articles were reviewed, and 233 articles met the eligibility criteria. The full-texts of those publications where exclusion criteria were not explicitly clarified in title or abstract, were retrieved for an in-depth revision. Following this ultimate screening, 90 articles met final inclusion criteria. Main reasons for exclusions were: (a) no football players, or other athletes from different sports, were included in the study; (b) evaluations carried out with only performance purposes; and (c) injured athletes were evaluated.



**Figure 1.** Flow chart showing the different phases of the search and study selection process.

### Characteristics of included articles

A total of 90 studies have evaluated, from an injury perspective, different cohorts of football players through sports tasks including landing or cutting manoeuvres. A sum of 4455 football players aged between 13 and 35, have been evaluated in the 90 publications. Players were included from different football modalities. Thus, 73 articles included a total of 3260 soccer players, 7 articles; 555 Australian football players, 6 articles; 305 rugby players, 4 articles; 248 American football players, and 3 articles; 87 Gaelic football players. Among the articles included, there are a wide variety of study designs (e.g. prospective cohort, cross-sectional, randomised controlled trials...) though the

differentiation of the studies by their design is out of the scope of the present systematic review.

### **Sports tasks**

The different sports tasks utilized by the 90 articles can be divided into tasks including a jump-landing manoeuvre and tasks including a cutting manoeuvre (tables 1 and 2). 58 out of 90 studies used, at least, a jump-landing manoeuvre. In these 58 articles, a total of 90 jump-landing tasks were performed by the athletes. Otherwise, 36 out of 90 studies included a cutting manoeuvre. In these cases, a sum of 65 cutting-tasks was performed by the participants.

According to the main direction of movement, jumps can be divided into vertical and horizontal, depending on whether the centre of mass primarily describes an horizontal or vertical displacement (19). 44 out of 90 studies evaluated their participants through a vertical jump which, in turn, can be sub-categorised in countermovement jumps (CMJ, 22 articles), squat jumps (SJ, 4 articles), drop vertical jumps (DVJ, 15 articles), drop landings (DL, 7 articles) or vertical jumps after approaching run (VJAAR, 7 articles). On the other hand, 7 out of 90 studies evaluated the football players through a horizontal jump. Additionally, 20 studies used a consecutive-jumps task in order to carry out the evaluation, where entered jumping tasks like the Tuck Jump (75,76).

Following the categorisation of the review from Dos'Santos et al. (20), sports tasks including cutting manoeuvres were categorised in shallow COD, moderate COD and sharp COD, depending on the angle of the COD. Thus, a shallow COD was the most commonly used cutting manoeuvre (26 article), followed by the sharp COD (17 articles), and the moderate COD (1 article).



**Table 1.** Characteristics of the sports tasks including a jump-landing manoeuvre.

Task	Procedure	Variables	Equipment	Reliability	Association with injury	Fatigue	Uncertainty
CMJ <sup>21-41</sup>	<p>The CMJ starts with a preparatory movement of knee extension going down to 110° knee flexion and, without pause, jumping upward as high as possible.</p> <p>Each participant should perform at least 2<sup>32</sup>, 3<sup>22-29,31,34-36,39-41</sup> or 5<sup>33,37</sup> good trials with 10<sup>35</sup>, 30<sup>28-29</sup>, 60<sup>24,33,40</sup>, 90<sup>23</sup> or 120<sup>34</sup> seconds of rest between them.</p> <p>The CMJ can be performed either bipodal<sup>21-23,25-28,29-30,32-38,39-41</sup> or unipodal<sup>24,28-29,31</sup>, and with<sup>21,32,35,38-39</sup> or without<sup>23,24-25,27-30,33-34,37,40-41</sup> the contribution of the arms.</p>	<p>Qualitative<sup>22,24,29,31-32,34-35,37</sup></p> <p>Kinematic<sup>22</sup></p> <p>Kinetic<sup>22,24,29,31-32,34-35,37</sup></p> <p>Quantitative<sup>21,23,25-30,32-33,36-38,39-41</sup></p>	<p>Yardstick<sup>21,26,38</sup></p> <p>Force platform<sup>22,24,29,33-34,37,41</sup></p> <p>Motion capture system<sup>22</sup></p> <p>OptoJump<sup>23,25,28,40</sup></p> <p>Contact platform<sup>27,30,31</sup></p> <p>Measuring tape<sup>32</sup></p> <p>Jumbo (app)<sup>32</sup></p> <p>Pressure platform<sup>35</sup></p>	<p>ICC=0.71-0.99<sup>24,26,28,31,34</sup></p> <p>TEM=0.94-1.25<sup>28</sup></p> <p>CV=3.3-5.4%<sup>28</sup></p>	<p>CMJ height not related to injury<sup>21,25-26,30,39-41</sup></p> <p>CMJ height related to injury<sup>27,32,38</sup></p> <p>Power output related to injury<sup>31-32</sup></p> <p>CMJ/SJ height ratio related to injury<sup>40</sup></p>	<p>Yes<sup>35-36</sup></p> <p>No<sup>21-34,37,41</sup></p>	<p>No<sup>21-41</sup></p>



SJ <sup>30,39-41</sup>	<p>Each participant should perform at least 2<sup>32</sup>, 3<sup>22-29,31,34-36,39-41</sup> or 5<sup>33,37</sup> good trials with 10<sup>35</sup>, 30<sup>28-29</sup>, 60<sup>24,33,40</sup>, 90<sup>23</sup> or 120<sup>34</sup> seconds of rest between them.</p> <p>The CMJ can be performed either bipodal<sup>21-23,25-28,29-30,32-38,39-41</sup> or unipodal<sup>24,28-29,31</sup>, and with<sup>21,32,35,38-39</sup> or without<sup>23,24-25,27-30,33-34,37,40-41</sup> the contribution of the arms.</p>	Quantitative <sup>30</sup> , <sup>39-41</sup>	Force platform <sup>22,24,29,33-34,37,41</sup>	SJ height not related to injury <sup>39,41</sup>	No <sup>30,39-41</sup>	No <sup>30,39-41</sup>
			Motion capture system <sup>22</sup>			
			OptoJump <sup>40</sup>	SJ height related to injury <sup>30,40</sup>		
			Contact platform <sup>30</sup> Photo sensors <sup>39</sup>	CMJ/SJ height ratio related to injury <sup>40</sup>		
VJAAR <sup>21</sup> - <sup>22,42-46</sup>	<p>The VJAAR consists of a running approach from a standing position and planting onto the designated area, usually a force platform<sup>22,42-43,45</sup>, and jumping straight into the air as if performing a soccer header<sup>42,45</sup> of a virtual soccer ball<sup>46</sup>.</p> <p>The approaching run length usually takes 2 steps<sup>44</sup>, 5m<sup>21</sup>, 6m<sup>43</sup> or 10m<sup>22</sup> at a speed higher than 3.3m/s<sup>43</sup>, 3.5m/s<sup>42,45</sup>, 60% of the maximum<sup>22</sup> or maximum<sup>22</sup>.</p> <p>Each participant should perform at least 3<sup>22,44</sup>, 4<sup>46</sup> or 5<sup>42-43,45</sup> good</p>	Qualitative <sup>22</sup> , 42-43,45-46	Yardstick <sup>21,44</sup>	VJAAR height related to injury <sup>21</sup>	Yes <sup>42,45</sup>	Yes <sup>42-43,45</sup>
		Kinematic <sup>22,42</sup> - 43,45-46	Force platform <sup>22,42-43,45</sup>		No <sup>21,22,43-44,46</sup>	No <sup>21-22,44,46</sup>
		Kinetic <sup>22,42-43,45</sup>	Motion capture system <sup>22,42-43,45-46</sup>	VJAAR height not related to injury <sup>21</sup>		
		EMG	Timing system <sup>22,42-43</sup>			
		Quantitative <sup>21</sup> , <sup>44</sup>	Light beam and projector <sup>43</sup>			

	trials with 60 <sup>42-45</sup> or 180 <sup>22</sup> seconds of rest between them.		Custom-built, head-mounted display <sup>46</sup>				
DVJ <sup>44,46-59</sup>	<p>Starting at the top of a box, the DVJ requires the players to drop off the box, land, and immediately follow this with a maximal vertical jump<sup>58</sup>.</p> <p>Each participant should perform at least 3<sup>44,46-57,49-51,53,56-59</sup>, 4<sup>54</sup>, 6<sup>48</sup> or 10<sup>55</sup> good trials with 10<sup>56</sup>, 30<sup>53</sup> or 60<sup>47,50</sup> seconds of rest between them.</p> <p>The drop height can be set at 15<sup>56</sup>, 30<sup>44,47,50-51,53-54,56-59</sup>, 31<sup>46,48,52</sup>, 40<sup>49</sup>, 45<sup>56</sup> cm or can be normalized by a maximum vertical jump<sup>55</sup>.</p> <p>The DVJ can be performed either bipodal<sup>44,46-53,55-61</sup> or unipodal<sup>54</sup></p>	<p>Qualitative<sup>44,46-59</sup></p> <p>Kinematic<sup>44,46-47,49-59</sup></p> <p>Kinetic<sup>48-50,54-55,57</sup></p> <p>EMG<sup>54</sup></p> <p>Cuantitative<sup>56</sup></p>	<p>Force platform<sup>48-50,54-55,57-59</sup></p> <p>Motion capture system<sup>46-47,49-50,54-55,57-59</sup></p> <p>OptoJump<sup>53</sup></p> <p>Video camera<sup>44,47,52</sup></p> <p>Kinetic camera<sup>51</sup></p> <p>EMG system<sup>54</sup></p> <p>Electrogoniometer and accelerometer<sup>56</sup></p>	<p>ICC=0.65-0.97<sup>49,56</sup> and 0.83-0.97<sup>56</sup></p> <p>ICC=0.48<sup>52</sup></p> <p>MDC=0.286<sup>52</sup></p> <p>ICC=0.89<sup>62</sup></p>	<p>DVJ biomechanics not related to injury<sup>58</sup></p> <p>DVJ biomechanics related to injury<sup>58</sup></p> <p>Dynamic balance not related with</p>	<p>Yes<sup>56</sup></p> <p>No<sup>44,46-55,57-59</sup></p> <p>No<sup>44,46-59</sup></p> <p>No<sup>33,41,48,6</sup></p> <p>No<sup>33,41,48,60-62</sup></p>	
DL <sup>33,41,48,60-62</sup>	The DL involves participants stepping off a raised platform <sup>61</sup> , and	Qualitative <sup>33,41,48,60-62</sup>	Grid <sup>60</sup>  Force	ICC=0.89 <sup>62</sup>	Dynamic balance not related with	No <sup>33,41,48,6</sup>	No <sup>33,41,48,60-62</sup>

	<p>landing as smoothly as possible<sup>41</sup>, trying to held the landing position for a few seconds<sup>62</sup>.</p> <p>Each participant should perform at least 3<sup>60,62</sup>, 4<sup>61</sup>, 5<sup>33</sup>, or 6<sup>48</sup> good trials with 30<sup>62</sup> or 60<sup>33</sup> seconds of rest between them.</p> <p>The drop height can be set at 20<sup>41</sup>, 30<sup>60-62</sup>, 31<sup>48</sup> or normalized by a maximum vertical jump<sup>33</sup>.</p> <p>The DL can be performed either bipodal<sup>48</sup> or unipodal<sup>33,41,60-62</sup>.</p>	<p>Kinematic<sup>60-62</sup></p> <p>Kinetic<sup>33,41,48,61-62</sup></p>	<p>platform<sup>33,41,48,61-62</sup></p> <p>Motion capture system<sup>61-62</sup></p>		<p>injury<sup>41</sup></p>		
HJ <sup>22-27-28,39,41,63-64</sup>	<p>An horizontal jump consists of a jump where the participant's centre of mass describes mainly an horizontal displacement.</p> <p>The direction of the horizontal jumps usually implies a lateral<sup>64</sup> or a forward<sup>22,27-28,41,63</sup> displacement, and can be</p>	<p>Qualitative<sup>22,64</sup></p> <p>Kinematic<sup>22,64</sup></p> <p>Kinetic<sup>22</sup></p> <p>Quantitative<sup>27-28,39,41,63</sup></p>	<p>Measuring tape<sup>27-28,39,41,63</sup></p> <p>Force platform<sup>22</sup></p> <p>Motion analysis system<sup>22</sup></p> <p>Scanner<sup>64</sup></p> <p>Timing system<sup>22</sup></p>	<p>ICC=0.79 and 0.84<sup>28</sup></p> <p>TEM=7.97 and 7.51<sup>28</sup></p> <p>CV=3.3 and 4.5<sup>28</sup></p>	<p>Horizontal jump distance asymmetry not related to injury<sup>27</sup></p> <p>Horizontal jump distance not related to injury<sup>39,41</sup></p>	<p>No<sup>22,27-28,39,41,63-64</sup></p>	<p>No<sup>22,27-28,39,41,63-64</sup></p>

performed followed by<sup>2</sup> or following<sup>64</sup> a run.

Each participant should perform at least 3<sup>22,27-28,39,41</sup> or 10<sup>64</sup> good trials with 30<sup>28</sup> or 180<sup>2</sup> seconds of rest between them.

Horizontal jumps can be performed either bipodal<sup>22,64</sup> or unipodal<sup>27-28,41,63</sup>.

CJ 29,38,41,53,62, 65 -77	<p>A consecutive-jumps task requires the participants to perform at least 2 successive jumps without stopping in between.</p> <p>The number of jumps required usually are 2<sup>62,66-68,71-72</sup>, 3<sup>7-</sup> 8,<sup>38,69,74,77</sup>, 5<sup>73</sup>, 20<sup>51,65</sup> or as much as possible in 10<sup>29,70,75-76</sup>, 15<sup>70</sup> or 30<sup>41</sup> seconds, and the predominant directions of displacement, which can be combined in the same task, are vertical<sup>29,53,65-77,70-73,75-87</sup>,</p>	<p>Qualitative<sup>29,53,62,65-68,70-77</sup></p> <p>Kinematic<sup>29,53,6</sup></p> <p>Kinetic<sup>62,66-68,71-73,77</sup></p> <p>Quantitative<sup>7,8,29,38,41,69</sup></p>	<p>Stopwatch<sup>41,69</sup></p> <p>Force platform<sup>62,66-68,71,77</sup></p> <p>Pressure measurement system<sup>72</sup></p> <p>Motion analysis system<sup>62,66-68,76</sup></p> <p>OptoJump<sup>29,53</sup></p> <p>Video camera<sup>65,70,75</sup></p> <p>High-speed</p>	<p>ICC=0.73-0.94<sup>8,62,71,77</sup></p> <p>TEM=4.15-21.9<sup>8,77</sup></p> <p>CV=4.2-4.3<sup>8</sup></p>	<p>Consecutive-jump task performance not related to injury<sup>7,38,41,73</sup></p> <p>Consecutive-jump task performance related to injury<sup>73</sup></p>	<p>Yes<sup>53,71,74</sup></p> <p>4</p> <p>No<sup>7-</sup></p> <p>29,37,40,62,65-77</p> <p>70,72-73,75-77</p>	<p>Yes<sup>78</sup></p> <p>No<sup>7-</sup></p> <p>29,37,40,52,61,65-73,75-77</p>
------------------------------------	---	---	--	---	---	--	--

forward<sup>7-8,38,66-67,69,72,74</sup>,  
 medial<sup>41,62,68-69,74</sup> and  
 lateral<sup>41,62,68-69,74</sup>.

digital camera<sup>74</sup>

Transducer and  
 encoder<sup>77</sup>

CMJ = counter-movement jump; SJ = squat jump; VJAAR = vertical jump after approaching run; DVJ = drop vertical jump; DL = drop landing; HZ = horizontal jump; CJ = consecutive jumps; ICC = interclass correlation coefficient; CV = coefficient of variation; TEM = technical error measurement.

**Table 2.** Characteristics of the sports tasks including a cutting manoeuvre.

Task	Procedure	Variables	Equipment	Reliability	Association with injury	Fatigue	Uncertainty
Shallow COD <sup>42,50,68,78-99,110</sup>	A shallow COD requires the participant to run or jump towards a target area, plant the designated foot and perform a change of direction at $\leq 45^\circ$ of the direction of travel.  Each participant should perform at least 3 <sup>68-69,83,90,94,110</sup> , 4 <sup>80-82,87-88,542,50,78,84-86,93</sup> or 8 <sup>91-92</sup> good trials with 30 <sup>92</sup> , 60 <sup>42,86,97,99</sup> seconds or as much as needed <sup>92</sup> of rest between	Qualitative <sup>42,50,68,78-99,110</sup>	Force platform <sup>42,50,68,78-99,110</sup>	ICC=0.86-0.97 <sup>78</sup>	Kinematic > Kinetic <sup>95</sup>	Yes <sup>42,85,87,93,96-97,99</sup>	Yes <sup>42,50,68,78,80,83,90,94,97-99,110</sup>
		Kinematic <sup>42,50,68,79-89,91-99,110</sup>	Motion capture system <sup>42,50,68,79-89,91-99,110</sup>			No <sup>50,68,78-84,86,88-92,94-95,98,110</sup>	
		Kinetic <sup>42,50,68,78-83,85-89,91-99,110</sup>	EMG system <sup>41,79,84,90</sup>			No <sup>78-79,81-82,91,93,95-96</sup>	
		EMG <sup>41,79,90</sup>	Timing system <sup>42,50,68,78,80-82,84-88,90,110</sup>				
		Quantitative <sup>78,8</sup>					

	<p>them.</p> <p>The COD can be performed at an angle of 45<sup>42,50,78-84,86-89,91-99,110</sup>, 15-55<sup>68</sup>, 40-50<sup>85</sup> or 35-45<sup>90</sup> and preceded by a jump<sup>78-79,83,97-98</sup> or a running approach at 4.5±0.5<sup>90</sup>, 5.0±0.2<sup>92</sup>, 5.2±0.5<sup>88</sup>, 4.0-5.0<sup>84,87,93,95,99</sup>, 4.5-5.0<sup>85</sup>, 4.5-5.5 m/s<sup>80,94</sup>, higher than 3.0<sup>110</sup>, 3.5<sup>42,50,86</sup>, 4.5 m/s<sup>96</sup>, maximum<sup>81-82,91</sup> or self-selected speed<sup>89</sup>.</p>	2	<p>Stereoscopic system<sup>90</sup></p> <p>Projector or screen<sup>42,85-87,89,110</sup></p> <p>Light-stimulus system<sup>42,50,80,83,87-88,92</sup></p>				
Moderate COD <sup>100</sup>	<p>A moderate COD requires the participant to run or jump towards a target area, plant the designated foot and perform a change of direction at 45-60° of the direction of travel.</p> <p>Each participant should perform at least 3 to 5<sup>100</sup> good trials.</p> <p>The COD can be performed at an angle of 35-60<sup>100</sup> and preceded by a running approach at 3.5±0.2 m/s<sup>100</sup>.</p>	<p>Qualitative<sup>100</sup></p> <p>EMG<sup>100</sup></p>	<p>Force platform<sup>100</sup></p> <p>EMG system<sup>100</sup></p> <p>Light-stimulus system<sup>100</sup></p>	-	-	No <sup>100</sup>	Yes <sup>100</sup>

Sharp COD <sup>50,61-62,80-83,101-109</sup>	A sharp COD requires the participant to run or jump towards a target area, plant the designated foot and perform a change of direction at > 60° of the direction of travel.	Qualitative <sup>50,61-62,80-83,101-109</sup>	Force platform <sup>50,61-62,80-83,101-102,104-106,109</sup>	ICC=0.70-0.85 <sup>62,106</sup>	Yes <sup>107-108</sup>	Yes <sup>50,80,83,109</sup>
	Each participant should perform at least 2 <sup>107-108</sup> , 3 <sup>62,83,103</sup> , 4 <sup>61,80-82,104-105,107-108, 550,101,109</sup> or 6 <sup>106</sup> good trials with 30 <sup>103-109</sup> , 60 <sup>50,62</sup> seconds or as much as needed <sup>101</sup> of rest between them.	Kinematic <sup>50,61-62,80-83,101-109</sup>	Motion capture system <sup>50,61-62,80-83,101,103-109</sup>	CV≤15% <sup>106</sup>	No <sup>50,61-62,80-83,101-106,109</sup>	No <sup>61-62,81-82,101-108</sup>
	The COD can be performed at an angle of 75 <sup>62</sup> , 70-90 <sup>106</sup> , 90 <sup>61,81-83,101-103,104-105,107-109</sup> , 110 <sup>80</sup> , 135 <sup>103</sup> or 180° <sup>50,61,101,105,107-108</sup> and preceded by a jump <sup>83,101-102</sup> , a drop landing <sup>109</sup> , or a running approach at 3.5-4.5 <sup>101</sup> , 3.6-4.4 <sup>61,105</sup> , 4.0-5.0 <sup>61,104-105</sup> , 4.5-5.5m/s <sup>80</sup> , higher than 3.5m/s <sup>48</sup> or maximum <sup>62,81-82,101,103,106</sup> speed, or while performing a T-Test <sup>107-108</sup>	Kinetic <sup>50,61-62,80-83,101-102,104-106,109</sup>	EMG system <sup>109</sup>	TEM=1.7-4.3% <sup>102</sup>		
		EMG <sup>109</sup>	Timing system <sup>50,61-62,80-83,101,104-105,107,109</sup>			
		Quantitative <sup>82,106</sup>	X-Ray <sup>102</sup>			
			Projector or screen <sup>50</sup>			
			Light-stimulus system <sup>50,80,83,109</sup>			

| Prevención de lesión de LCA en futbolistas

COD = change of direction; ICC = interclass correlation coefficient; CV = coefficient of variation; TEM = technical error measurement.



## DISCUSSION

The aim of this systematic review was to investigate those sports tasks including landing or cutting manoeuvres which have been used in the literature to evaluate football players from an injury-prevention approach. The procedures, variables analyzed, equipment, reliability (if reported), association with injury (in prospective of cohort studies), and if used under fatigue or uncertainty conditions in the different tasks are presented in tables 1 and 2, and will be discussed in this section. Moreover, some outcomes of interest will also be mentioned.

### **Sports tasks including jump-landing manoeuvres**

Characteristics of the sports tasks including jump-landing manoeuvres are summarised in table 1. They are categorised into CMJ, SJ, VJAAR, DVJ, DL, HZ and CJ.

#### *Counter-movement jump (CMJ)*

Procedures. In the present review, 22 articles utilized a CMJ (21-41). This task usually consists of starting with a preparatory movement of knee extension going down to 90° of knee flexion and, without pause, jumping upward as high as possible. The majority of studies which used a CMJ from an injury prevention approach, ask participants to perform three good trials with 30 or 60 seconds of recovery between them. In most of cases, it is performed bipodal and without the contribution of the arms.

Equipment, variables analyzed and reliability. Jump height (JH) is the most recurrent variable studied in publications evaluating CMJs, especially in those looking for discovering risk factors of injury. Nevertheless, ten articles also studied kinetic variables, by only one evaluating kinematics using a motion capture system. The most common equipment used is yardstick devices, force and contact platforms and Optojump systems. Articles that measured reliability of the methods or variables showed high values of ICC. It was reported that OptoJump system exhibited excellent reliability in evaluating JH through both bipodal (ICC=0.96, CV=3.3-5.4%, TEM=0.94- 1.25) (28) and unipodal (ICC=0.91-0.94) (29) CMJs. Similar values were obtained for kinetic variables measured through force platform (ICC=0.925-0.978) (24); power through a contact mat (ICC=0.98) (31); and JH through a yardstick device (ICC=0.96). Reliability was shown to be moderate to good measuring bilateral differences for maximal force, net impulse and maximal power with a force platform (34).

Association with injury. The association of JH with injuries has been studied, showing controversial results. Chalmers et al. (21) found that JH was not related to injury status, region, type or severity. Similarly, no association was found between injury lasting more than 3 days and JH in a cohort of 67 male recreational soccer players (41). Moreover, no difference was detected in JH among subsequently injured and non- injured players based on pre-season evaluations (25,30). Additionally, it was reported that JH was not a lower limb injury predictor (26,30,39-40). On the other hand, Gomez- Piqueras et al. (36) found that those players who did not suffer an injury obtained lower values in CMJ than those that suffered 1-3 and 4-8 injuries during the season (27,38), or

who lost 1-5, 16-28 and more than 28 days for injuries (27). Conversely, players with lower vertical jump were at greater risk of hamstring strain (32). Interestingly, some authors found that while male professional soccer players with high power were at greater risk of knee sprains, those with low power had a higher incidence of ankle sprain (31-32).

Fatigue and uncertainty conditions. There is a trend to not evaluate a CMJ under uncertainty conditions, and only two studies have analyzed participants under fatigue conditions. Pau et al., (35) found that time-to-stabilization, centre of pressure path length and centre of pressure displacement in the medio-lateral plane performing a CMJ increased after an actual match effort. Other study investigating the effect of photobiomodulation therapy as a tool for preventing hamstring strain injuries showed that a soccer-induced fatigue decreased JH in both placebo and photobiomodulation therapy groups, but with an ameliorated effect on the latter (36).

#### *Squat jumps (SJ)*

Procedures. The SJ requires players to flex their knees until 90°, to stop for 2-3 seconds, and then extend their knees and hips so as to jump as high as possible. No countermovement of the trunk or knees is permitted (2), and is performed bipodal and without the contribution of the arms (30,39-41). Commonly, three good trials (39-41) are performed with 60 (39) seconds of recovery.

Equipment, variables analyzed and reliability. As what occurred with CMJ, JH is the most common variable studied, which has been measured through a different technology in each of the studies (i.e. contact platform (30), photo sensors (39), OptoJump (40) and force platform (41)). The percentage of difference between the JH obtained in a CMJ and that obtained in a SJ (CMJ/SJ%) was also calculated (40). No qualitative variables are measured in a SJ.

Association with injury. Two studies found that SJ height, as a part of a preseason physical performance test, could not predict injury (39-41). Contrarily, Henderson et al. (30) found that a model predicting propensity for hamstring injury on the dominant limb containing age, active ROM, SJ height and lean mass, correctly classified 88.6% of the cases for higher propensity for hamstring injury, where SJ height made a significant contribution (OR=1.47, p=0.038), indicating that propensity for hamstring injury is greater with increases in SJ performance. Similarly, CMJ/SJ% was shown to predict, in combination with height and previous injury, time-to-injury (HR=0.79, z=-4.65), stating that a low CMJ/SJ% value contributes a risk factor of thigh strain in young male elite soccer players (40).

Fatigue and uncertainty conditions. None of the articles evaluated football players through a SJ under fatigue or uncertainty conditions.

#### *Vertical jump after approaching run (VJAAR)*

Procedure. The VJAAR consist of a running approach from a standing position, planting onto the designated area, and jumping straight into the air as if performing a soccer header (42,45). The approaching-run length normally used are two steps (44), 5 m (21), 6 m (43) and 10 m (22), with a speed of approach higher than 3.5 m/s (42,45).

Three (22,44), four (46) and five (42-43,45) good trials and 60 (42,45) seconds of rest between them are carried out in most evaluations, one of them increasing the recovery time up to 180 seconds between jumps.

Equipment, variables analyzed and reliability. Only two articles used quantitative (JH), against five that used kinetic and kinematic variables. Consequently, force platforms (22,42-43,45), motion capture systems (22,42-43,45-46), and timing systems to monitor the speed approach, are the most common technologies used. None of the articles measured directly the reliability either of the methods or variables used.

Association with injury. The only study assessing the association between JH in a VJAAR and injuries show that neither left nor right VJAARs were related to injury status or region (21). However, although the height of a right VJAAR was not associated with either injury type or severity, a higher left VJAAR was associated with quadriceps strain and injury severity (RR=1.051, p=0.034 and RR=1.022, p=0.038, respectively) (21).

Fatigue and uncertainty conditions. Two studies evaluated a VJAAR under fatigue and three under uncertainty conditions. Cortes et al. (42) observed that knee rotation and hip flexion at initial contact, knee flexion at peak posterior ground reaction force, peak knee flexion and hip flexion at peak hip flexion decreased after a functional agility short-term fatigue protocol. Nevertheless, they did not found interaction between fatigue and task (COD and VJAAR, both in unanticipated conditions). Similar results were obtained by Quammen et al. (45), where hip flexion and knee flexion decreased at peak vertical ground reaction force, peak posterior ground reaction force and peak knee flexion following a fatigue protocol. The uncertainty was created using a light stimulus 2 m before the jumps in all cases (42-43,45).

#### *Drop vertical jump (DVJ)*

Procedure. Starting at the top of a box, the DVJ requires the players to drop off the box, land, and immediately follow this with a maximal vertical jump (58). Normally, participants are asked to perform three good trials (44, 47, 50-51, 53-54, 56-59) with 10 (55), 30 (53) or 60 (47, 50) seconds of rest between them. The drop height is, in most cases, set at 30-31 cm from the roof, and DVJ performed with both feet (44, 46-53, 55-61).

Equipment, variables analyzed and reliability. Only one study evaluated a quantitative variable (JH) with all studies assessing qualitative variables, mainly kinematic and kinetic, with one study studying ankle and knee co-activation (54). Thus, force platforms and motion capture systems are the most common technologies utilized, with video camera being a low-cost solution of the latter used to evaluate kinematics (44,47,52). The test-retest and within-test reliability of hip, knee and ankles separation distances evaluated

through video camera have shown to be excellent ( $ICC \geq 0.90$ ). The Landing Error Score System (LESS) is a clinician-friendly measure of lower limb kinematics (47,51) that showed good reliability between novice and expert LESS overall scores ( $ICC=0.835$ ), and poor to excellent intrarater item reliability ( $K=0.459-1.0$ , agreement=65-100%). Hip and knee kinetics and kinematics evaluated with gold standard technologies has shown to provide good to excellent reliability ( $ICC=0.65-0.95$ ), with kinematics showing better reliability ( $ICC=0.84-0.95$ ) than kinetics ( $ICC=0.65-0.85$ ) (49). Moran et al. (56) observed a good to excellent reliability of kinematic variables in both fatigue ( $ICC=0.82-0.95$ ) and non-fatigue ( $ICC=0.83-0.94$ ) conditions during DVJ from a 30 cm high. JH showed an excellent reliability in both conditions ( $ICC=0.98$  and  $0.97$ , respectively). Conversely, the probability score (i.e. probability of high knee load: a parameter based on mass, tibia length, quadriceps-to-hamstring strength ratio, knee flexion range of motion and knee valgus motion) showed a poor intra- and inter-observer reliability ( $ICC=0.48$ ) (52).

Association with injury. In a prospective cohort study evaluating 173 female elite football players, the relationship between knee valgus angle and injuries was studied (58). Knee valgus angle was not a candidate risk factor for lower extremity, thigh, knee or lower leg and foot injury ( $p > 0.08$ ). However, knee valgus angle was a candidate risk factor significantly associated with a new ankle injury in the multivariate analysis ( $OR=0.64$ ,  $p=0.04$ ), where less knee angle appeared to be more risky to ankle injuries (injured= $2.1 \pm 5.1$ , non-injured= $4.4 \pm 5.7$ ) (58).

Fatigue and uncertainty conditions. Only one study used a DVJ to evaluate 15 female soccer players under fatigue conditions, where tibial peak impact acceleration and knee peak angular velocity during the eccentric phase increased after the fatigue protocol (56). Furthermore, they found an interaction effect between condition (fatigued and non-fatigued) and drop height (15, 30 and 45 cm), where these two variables increased more in fatigue as drop height increased (56). None of the studies evaluated a DVJ under uncertainty conditions.

### *Drop landing (DL)*

Procedure. The DL involves participants stepping off a raised platform (61), and landing as smoothly as possible (41), trying to hold the landing position for a few seconds (62). Studies ask participants to perform 3 (60,62), 4 (61), 5 (33) or 6 (48) good trials, normally giving them 30 (62) or 60 (33) seconds of recovery between them. The drop height mostly used is 30-31 cm from the floor (48,60-62) and DL performed in one leg (33,41,60-62).

Equipment, variables analyzed and reliability. All six studies evaluated kinematic or kinetic, with no one measuring quantitative variables. Force platform and motion capture systems were the technologies more used, with one study evaluating hip, knee, ankle and foot alignment with a grid on the wall (60). Only one study measured the reliability of the drop landing variables, where reliability was excellent in ankle ( $ICC=0.92-0.93$ ) and knee ( $0.91-0.95$ ) kinematics, and ankle kinetics ( $0.92-0.94$ ); good

to excellent in hip kinematics (0.88-0.92) and moments (0.85-0.94); good in knee moments (0.80-0.87); and moderate to excellent in pelvis kinematics (0.62-0.91) (62).

Association with injury. Frisch et al. (41) found no association between dynamic balance in a DL task and duration and intrinsic (noncontact and progressive) injuries superior to three days in a cohort of 67 male under-15, 17 and 19 amateur soccer players.

Fatigue and uncertainty conditions. None of the six studies evaluated a DL task under fatigue or uncertainty conditions.

#### *Horizontal Jump (HJ)*

Procedure. An HJ consists of a jump where the participant's centre of mass describes mainly an horizontal displacement. The most frequently direction of the jump is forward (22,27-28,41,63), and most commonly participants perform three (22,27-28,39,41) good trials with 30 (28) or 180 (2) seconds of rest between them. HJ can be performed either bipodal (2, 64) or unipodal (27-28, 41, 63).

Equipment, variables analyzed and reliability. Only two studies evaluated qualitative (kinematic and kinetic) (22,64), with most measuring quantitative variables (27-28,39, 41,63). Because of this, measuring tape is the most common equipment used to measure jump distance (JD). The reliability of the single leg hop, which is categorized as a forward HJ, has demonstrated to be good with right (ICC=0.79, CV=3.3%, TEM=7.91) and with left (ICC=0.84, CV=4.5%, TEM=7.51) legs (28).

Association with injury. Three prospective of cohort studies have found no association between HJ variables and injury. Frisch et al. (41) observed that there were no association between HJ distance of a single leg hop and injuries lasting more than three days. Likewise, Svensson et al. (39) found that HJ distance was not an injury predictor in a cohort of 63 elite male soccer players from the Swedish first league. Gomez- Piqueras et al. (27) did not found differences for asymmetry in the single leg hop for distance for number of injuries and number of absence days suffered during the season.

Fatigue and uncertainty conditions. None of the seven studies have evaluated a HJ under fatigue or uncertainty conditions.

#### *Consecutive Jumps (CJ)*

Procedure. A CJ task requires the participants to perform at least two successive jumps without stopping between them. The most frequent number of jumps performed are two (62,66-68,71-72) or three (27-28,38,69,74,77), although there are some articles where instructions are "jump as many times as possible" during 10 seconds in most of cases (29,70,75-76). Vertical, forward, medial and lateral are the predominant directions of displacement, which can be combined in the same task.

Equipment, variables analyzed and reliability. Most of the studies measured qualitative (kinematic and kinetic) with six studies measuring quantitative variables. Motion

capture systems and force platforms were the two main technologies utilized to evaluate kinematics and kinetics, respectively, although video cameras and high-speed digital cameras have been alternative technologies to evaluate kinematics in a more economical way (65,70,75). Measuring tape, stopwatch and OptoJump were the equipment used to evaluate, mainly jump distance and number of jumps. The tuck jump assessment appeared as an inexpensive tool that allows coach or clinicians to evaluate athletes at high risk of injury by only using two video cameras and an assessment criteria list (75,76). Reliability of several variables in CJ have been reported. Gonzalo-Skok et al. (28) have noted that a triple single-leg hop showed good reliability for both right (ICC=0.83, CV=4.3) and left (ICC=0.85, CV=4.2), although the TEM was high (21.9 and 21.7, respectively). Similar values of reliability were reported for CJ variables in lateral hops over a 15 cm hurdle (ICC=0.88) (62) and for K-leg scores (ICC=0.8, TEM=4.15), a parameter measuring stiffness from displacement of the COM and the peak of GRF in three consecutive vertical jumps (77). In other study, the day-to-day reliability for vertical stiffness and impedance in a CJ consisting of two jumps (one horizontal, one vertical) was shown to be excellent (ICC=0.94 for both variables) (71).

Association with injury. The relationship between CJ variables and injury is not clear. Although contact time in a five-vertical-jumps task was a predictor of injury in the univariate analysis for both the risk of sustaining injury (OR=0.245,  $p<0.05$ ) and injury severity (OR=0.147,  $p=0.009$ ), both disappeared in the multivariate analysis. Mean concentric and eccentric power in the same task were not predictors of sustaining an injury, and only mean concentric power in the univariate analysis showed a predictive value in injury severity (OR=0.963,  $p<0.1$ ) (73). No association between injury and asymmetry triple hop balance in a triple-hop test in 202 professional rugby players (27,38), and number of jumps in a 30-s side hop tests in 67 adolescent regional soccer players were found (41).

Fatigue and uncertainty conditions. Only 3 out of 20 studies evaluated a CJ task under fatigue conditions (53, 71, 74). Regarding uncertainty, only Greig et al. (74), in a cohort of ten male professional soccer players, assessed three CJ tasks (eversion, inversion and neutral jumps) under unanticipated conditions, using a stimulus created by the instructor outstretching an arm after the penultimate foot.

### **Sports tasks including cutting manoeuvres**

The importance of the cutting tasks to screen football players from an injury approach becomes evident given the fact that 36 articles have used a COD for this purpose (table 2). A COD requires the participant to run or jump towards a target area, plant the designated foot and perform a change of direction by either a cross- or side-cut manoeuvre. Depending on the angle of direction, COD are divided in shallow, moderate and sharp CODs (109).

#### *Shallow and moderate COD*

Procedure. Shallow and moderate CODs are performed at  $\leq 45^\circ$  and between  $45-60^\circ$  of the direction of travel, respectively. The COD can be preceded by a jump (78-79,83,97-98), although in most cases it follows a running approach at a maximum speed (81-82,91), at a speed higher than 3.5 m/s (42, 50, 86) or at a speed comprised between 4.5-5.0 m/s (84,87,93,95,99). Normally, three good trials with 60 seconds of recovery between them are performed.

Equipment, variables analyzed and reliability. Kinematic and kinetic variables are the most common variables studied, with a more trend in the use of EMG (41,79,90) than in jump-landing manoeuvres. This indicates a higher dominance of assessing qualitative variables in COD, where force platforms and motion capture systems appeared to be the best option to assess these parameters. Timing systems are usually needed for speed of approach to be controlled. On the other hand, two studies have also explicitly investigated the COD's completion time (CT) (78,82). For instance, Havens et al. (82) found that variables correlating with CT (i.e. medio-lateral centre of mass – centre of pressure separation) explained the 22% of variance ( $r=0.472$ ,  $p=0.017$ ) of the peak knee adductor moment, variable commonly related with knee injuries. Thus, they revealed some injury-performance issue (82). According to reliability, variables such as CT, magnitude of force and take-off vector of a  $45^\circ$  COD have shown to have a good to excellent reliability ( $ICC=0.86-0.97$ ) (78). Sankey et al. (95), in a cohort of 8 recreationally active soccer players, found that while kinematic data (i.e. knee angles) variability was consistently low across the time-series, regardless plane of motion, kinetic data (i.e. knee moments) variability was distinctly elevated, especially in the weight acceptance phase.

Association with injury. None of the studies have prospectively used a shallow- moderate COD to predict or study their association with injury.

Fatigue and uncertainty conditions. Up to 7 articles have used a shallow or moderate COD under fatigue conditions, using several fatigue protocols (42,85,87,93,96-97,99). Unanticipated CODs are frequently used when screening players from an injury perspective, using different ways to create uncertainty, such as lights (42,78,80,97-100,110) arrows (68,83,94), colours (84) or real-time visualization (50,86,90) stimulus. The stimulus are frequently displayed two meters (42,87,97), 400 ms (88), 500 ms (92), 600 ms (85,92), or 850 ms (92) before reaching the force platform, or are adjusted by participant's speed (89). To create this range of stimulus, stereoscopic systems (90), projectors or screens (42,85-87,89,110) or light-stimulus systems (42,50,80,83,87-88,92,100) are required.

### *Sharp COD*

Procedure. Sharp CODs are performed at  $> 60^\circ$  of the direction of travel. The COD can be preceded by a jump (83,101-102) although in most cases it follows a running approach at a maximum speed (62,81-82,101,103,106), or at a speed comprised between 4.5-5.0 m/s (61,104-105). Commonly, four good trials with 30 seconds of rest

between them are performed. Furthermore, a sharp COD can be evaluated while performing a T-Test (107-108).

Equipment, variables analyzed and reliability. Similarly as seen in shallow-moderate CODs, qualitative variables (kinematic and kinetic) are the trend to evaluate sharp CODs. Because of this, force platforms and motion capture systems are the technologies mostly used, with timing systems utilized to control the speed of the running approach. One study evaluated EMG through an EMG system (109), whereas two studies have taken into account quantitative variables (i.e. COD's CT) in their evaluations (82,106). The reliability of the kinetic and kinematic variables have shown to be good (ICC=0.85) in a 75° side-cut (62). Similarly, biomechanical variables in a 70-90° COD have demonstrated a good to excellent reliability (ICC≥0.70, CV≤15%). In a sharp COD performed at an angle of 90° by 11 professional Australian rugby players, reliability of the centre of mass displacement have shown to be good (TEM=4.3%).

Association with injury. None of the studies have prospectively used a sharp COD to predict or study the association of injury.

Fatigue and uncertainty conditions. Only two studies have evaluated a sharp COD under fatigue conditions (107-108). Regarding uncertainty, four publications have created unanticipated CODs for screening purposes (50,80,83,109). The most common stimulus created by researchers has been lights (80,109), arrows (83) and real-time visualization techniques (50), where projector or screens and light-stimulus systems have been used.

## LIMITATIONS

This systematic review has several limitations. Firstly, the search strategy was limited to those studies published in the last decade, omitting articles published up to 2009. This decision laid on the basis that there are a huge amount of articles published in the field, and the priority was to provide the more up-to-date information in a practical manner. Moreover, only one database was searched: PUBMED. Although it would have been of interest including in the search other databases such as MEDLINE or Web of Science, two were the reasons to limit the process. On the one hand, PUBMED is an open-access platform, easily accessible to coaches, physical trainers, and physiotherapists, whom this review should be main useful for. On the other hand, PUBMED contains an enough amount of contents to be representative of the state of the literature. However, it would be recommended to expand the literature search to other databases from earlier ages.

Additionally, athletes aged fewer than 13 were excluded for analysis. This decision was made because a recent article showed that reliability of complex tasks such as change of directions is low in soccer players under-13, possibly due to maturity issues (111). Nevertheless, the importance of evaluating younger football players in order to better design prevention programs from early ages requires further attention. Lastly, due to the



vast variety of the different variables used across studies, qualitative variables were divided into kinetic, kinematic and EMG, and not individually analyzed. Further research should address this issue by an one-by-one approach.

## CONCLUSIONS AND PRACTICAL APPLICATIONS

The different studies included in this systematic review highlight the high variety of sports tasks that can be used to screen football players from an injury-prevention perspective. In the present review we have divided these tasks into those including jump-landing or cutting manoeuvres. The advantages of using the former are that they can be performed either bipodal or unipodal, and both concentric and eccentric phases of the action can be analyzed. The most frequent jump-landing tasks used are CMJ, DVJ, and CJ, although other such as VJAAR appeared as an interest option to measure vertical jumps after an approaching run, as usually performed in competition. On the other hand, cutting manoeuvres have the main potential of evaluating football players in all the planes of motion (e.g. transverse plane) through a very specific football-task. Shallow CODs at 45° are the most frequent, but additional deficiencies have shown to be more easily detected during sharp CODs. Regarding the context in which these tasks take place, some measurements have to be carried out in the laboratory due to the equipment needed, especially when evaluating qualitative variables (i.e. kinematic, kinetic, and EMG). While they provide a great amount of accuracy and reliability, the technologies needed for this purpose can hardly be afforded for coaches or physical trainers, and methods difficult to carry out into a real context of a competitive team. Biomechanics of the trunk, hip, knee, ankle and lower leg are the most common variables analyzed from the injury-prevention approach. However, most variables evaluated in prospective cohort studies are quantitative, and have shown controversial results when associated with injury incidence. Additionally, it has also been shown how they change under fatigue and uncertainty conditions. Therefore, it would be highly recommended to include unanticipated tasks and measurements under fatigue conditions to better represent the game demands. On account of the different advantages that jump- landing and cutting manoeuvres have been shown to provide, we do highly recommend to elaborate a test battery where different landing and cutting tasks are included when evaluating football players from the injury-prevention perspective. Due to the importance of the quality of movement in these evaluations, and the shortcomings of the technologies needed for these measurements, efforts should be made to elaborate more affordable tools that provide coaches, physical trainers, and physiotherapists with a detailed picture of the status of their football players. Consequently, they would be able to better design individualised prevention programs, and injuries might be reduced.

## REFERENCES

1. Fédération Internationale de Football Association (FIFA). FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football. *FIFA CommunDivInf Serv.* 2007;1–12.
2. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *Br J Sports Med.* 2011;45(7):553–8.
3. Hawkins R, Hulse M, Wikinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med.* 2001;35(1):43–7.
4. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: Osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2007;35(10):1756–69.
5. Wong P, Hong Y. Soccer injury in the lower extremities. *Br J Sports Med.* 2005;39(8):473–82.
6. Waldén M, Krosshaug T, Børneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in noncontact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med.* 2015;49(22):1452–60.
7. Johnston JT, Mandelbaum BR, Schub D, Rodeo SA, Matava MJ, Silvers-Granelli HJ, et al. Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional American Football Athletes. *Am J Sports Med.* 2018;46(4):862–8.
8. Hegedus EJ, McDonough S, Bleakley C, Baxter GD, DePew JT, Bradbury I, et al. Physical performance tests predict injury in National Collegiate Athletic Association athletes: A three-season prospective cohort study. *Br J Sports Med.* 2016;50(21):1333–7.
9. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492–501.
10. Pappas E, Nightingale EJ, Simic M, Ford KR, Hewett TE, Myer GD. Do exercises used in injury prevention programmes modify cutting task biomechanics? A systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2015;49(10):673–80.
11. Lopes TJA, Simic M, Myer GD, Ford KR, Hewett TE, Pappas E. The Effects of Injury Prevention Programs on the Biomechanics of Landing Tasks: A Systematic Review With Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2018;46(6):1492–9.
12. Harrison JJ, Yorgey MK, Csiernik AJ, Vogler JH, Games KE. Clinician-Friendly Physical Performance Tests for the Knee. *J Athl Train [Internet].* 2017;52(11):1068–9. Available from: <http://natajournals.org/doi/10.4085/1062-6050-52.11.19>
13. Hegedus EJ, McDonough SM, Bleakley C, Baxter D, Cook CE. Clinician-friendly lower extremity physical performance tests in athletes: A systematic review of measurement properties and correlation with injury. Part 2—the tests for the hip, thigh, foot and ankle including the star excursion balance test. *Br J Sports Med.* 2015;49(10):649–56.
14. Maclachlan L, White SG, Reid D. Observer Rating Versus Three-Dimensional Motion Analysis of Lower Extremity Kinematics During Functional Screening Tests: a Systematic Review. *Int J Sports PhysTher [Internet].* 2015;10(4):482–92.
15. Onate J, Cortes N, Welch C, Van Lunen B. Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *J Sport Rehabil.* 2010;19(1):41–56.
16. Verhagen E, van Dyk N, Clark N, Shrier I. Do not throw the baby out with the bathwater; screening can identify meaningful risk factors for sports injuries. *Br J Sports Med.* 2018;52(19):1223–4.
17. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016;15(2):155–63.
18. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3–12.
19. Maulder P, Cronin J. Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *PhysTher Sport.* 2005;6(2):74–82.

20. Dos'Santos T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. The Effect of Angle and Velocity on Change of Direction Biomechanics: An Angle-Velocity Trade-Off. *Sport Med* [Internet]. 2018;48(10):2235–53. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0968-3>
21. Chalmers S, Magarey ME, Esterman A, Speechley M, Scase E, Heynen M. The relationship between pre-season fitness testing and injury in elite junior Australian football players. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2013;16(4):307–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2012.09.005>
22. Daneshjoo A, Abu Osman NA, Sahebozamani M, Yusof A. Analysis of jumping-landing manoeuvres after different speed performances in soccer players. *PLoS One*. 2015;10(11):1–10.
23. De Hoyo M, Pozzo M, Sañudo B, Carrasco L, Gonzalo-Skok O, Domínguez-Cobo S, et al. Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10(1):46–52.
24. DelloIacono A, Padulo J, Ayalon M. Core stability training on lower limb balance strength. *J Sports Sci* [Internet]. 2016;34(7):671–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2015.1068437>
25. Eliakim E, Doron O, Meckel Y, Nemet D, Eliakim A. Pre-season Fitness Level and Injury Rate in Professional Soccer – A Prospective Study. *Sport Med Int Open*. 2018;02(03):E84–90.
26. Gabbett TJ, Ullah S, Finch CF. Identifying risk factors for contact injury in professional rugby league players - Application of a frailty model for recurrent injury. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2012;15(6):496–504. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.017>
27. Gómez-Piqueras P, González-Víllora S, Sainz de BarandaAndújar M, Contreras-Jordán O. Functional Assessment and Injury Risk in a Professional Soccer Team. *Sports* [Internet]. 2017;5(1):9. Available from: <http://www.mdpi.com/2075-4663/5/1/9>
28. Gonzalo-Skok O, Moreno-Azze A, Arjol-Serrano JL, Tous-Fajardo J, Bishop C. A Comparison of Three Different Unilateral Strength Training Strategies to Enhance Jumping Performance and Decrease Inter-Limb Asymmetries in Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;1–26.
29. Wik EH, Auliffe SM, Read PJ. Examination of Physical Characteristics and Positional Differences in Professional Soccer Players in Qatar. *Sports*. 2018;7(1):9.
30. Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2010;13(4):397–402. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.003>
31. Henry T, Evans K, Snodgrass SJ, Miller A, Callister R. Risk Factors for Noncontact Ankle Injuries in Amateur Male Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Clin J Sport Med*. 2016;26(3):251–8.
32. Iguchi J, Watanabe Y, Kimura M, Fujisawa Y, Hojo T, Yuasa Y, et al. Risk factors for injury among Japanese collegiate players of American football based on performance test results. *J Strength Cond Res*. 2016;30(12):3405–11.
33. Impellizzeri FM, Bizzini M, Dvorak J, Pellegrini B, Schena F, Junge A. Physiological and performance responses to the FIFA 11+ (part 2): A randomised controlled trial on the training effects. *J Sports Sci*. 2013;31(13):1491–502.
34. Menzel H-J, Chagas MH, Szmuchrowski LA, Araujo SRS, de Andrade AGP, de Jesus-Moraleida FR. Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *J Strength Cond Res*. 2013;27(5):1370–7.
35. Pau M, Mereu F, Melis M, Leban B, Corona F, Ibba G. Dynamic balance is impaired after a match in young elite soccer players. *PhysTher Sport* [Internet]. 2016;22:11–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2016.05.008>
36. Dornelles MP, Fritsch CG, Sonda FC, Johnson DS, Leal-Junior ECP, Vaz MA, et al. Photobiomodulation therapy as a tool to prevent hamstring strain injuries by reducing soccer-induced fatigue on hamstring muscles. *LasersMedSci*. 2019;34(6):1177–84.

37. Ortega DR, Rodríguez Bfés EC, Berral de la Rosa FJ. Analysis of the vertical ground reaction forces and temporal factors in the landing phase of a countermovement jump. *J Sport Sci Med*. 2010;9(2):282–7.
38. Sman AD, Hiller CE, Rae K, Linklater J, Morellato J, Trist N, et al. Predictive factors for ankle syndesmosis injury in football players: A prospective study. *J Sci Med Sport*. 2014;17(6):586–90. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2013.12.009>
39. Svensson K, Alricsson M, Olausson M, Werner S. Physical performance tests - A relationship of risk factors for muscle injuries in elite level male football players. *J ExercRehabil*. 2018;14(2):282–8.
40. Venturelli M, Schena F, Zanolla L, Bishop D. Injury risk factors in young soccer players detected by a multivariate survival model. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2011;14(4):293–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2011.02.013>
41. Frisch A, Urhausen A, Seil R, Croisier JL, Windal T, Theisen D. Association between preseason functional tests and injuries in youth football: A prospective follow-up. *Scand J Med Sci Sport*. 2011;21(6):468–76.
42. Cortes N, Quammen D, Lucci S, Greska E, Onate J. A functional agility short-term fatigue protocol changes lower extremity mechanics. *J Sports Sci*. 2012;30(8):797–805.
43. Greska EK, Cortes N, Van Lunen BL, Onate JA. A feedback inclusive neuromuscular training program alters frontal plane kinematics. *J Strength Cond Res*. 2012;26(6):1609–19.
44. Noyes F, Barber-Westin S, Smith S, Campbell T. A training program to improve neuromuscular and performance indices in female high school soccer players. *J Strength Cond Res*. 2013;27(2):340–51.
45. Quammen D, Cortes N, Van Lunen BL, Lucci S, Ringleb SI, Onate J. Two different fatigue protocols and lower extremity motion patterns during a stop-jump task. *J Athl Train*. 2012;47(1):32–41.
46. DiCesare CA, Kiefer AW, Bonnette SH, Myer GD. Realistic Soccer-Specific Virtual Environment Exposes High-Risk Lower Extremity Biomechanics. *J Sport Rehabil*. 2019;1–23. Available from: <https://journals.humankinetics.com/doi/10.1123/jsr.2018-0237>
47. Onate J, Cortes N, Welch C, Van Lunen B. Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *J Sport Rehabil*. 2010;19(1):41–56.
48. Widenhoefer TL, Miller TM, Weigand MS, Watkins EA, Almonroeder TG. Training rugby athletes with an external attentional focus promotes more automatic adaptations in landing forces. *Sport Biomech* [Internet]. 2019;18(2):163–73. Available from: <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1584237>
49. Arundale AJH, Silvers-Granelli HJ, Marmon A, Zarzycki R, Dix C, Snyder-Mackler L. Changes in biomechanical knee injury risk factors across two collegiate soccer seasons using the 11+ prevention program. *Scand J Med Sci Sport*. 2018;28(12):2592–603.
50. Cortes N, Onate J, van Lunen B. Pivot task increases knee frontal plane loading compared with sidestep and drop-jump. *J Sports Sci*. 2011;29(1):83–92.
51. Ford JM, Campbell KR, Ford CB, Boyd KE, Padua DA, Mihalik JP. Can Functional Movement Assessment Predict Football Head Impact Biomechanics? *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(6):1233–40.
52. Lagas IF, Meuffels DE, Visser E, Groot FP, Reijman M, Verhaar JAN, et al. High knee loading in male adolescent pre-professional football players: Effects of a targeted training programme. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2019;22(2):164–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.016>
53. Lehnert M, Croix MDS, Xaverova Z, Botek M, Varekova R, Zaatar A, et al. Changes in Injury Risk Mechanisms after Soccer-Specific Fatigue in Male Youth Soccer Players. *J Hum Kinet*. 2018;62(1):33–42.
54. Lyle MA, Valero-Cuevas FJ, Gregor RJ, Powers CM. Control of dynamic foot-ground interactions in male and female soccer athletes: Females exhibit reduced dexterity and higher limb stiffness

- during landing. *J Biomech* [Internet]. 2014;47(2):512–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.10.038>
55. Malloy P, Morgan A, Meinerz C, Geiser C, Kipp K. The association of dorsiflexion flexibility on knee kinematics and kinetics during a drop vertical jump in healthy female athletes. *Knee Surgery, Sport TraumatolArthrosc.* 2015;23(12):3550–5.
  56. Moran K, Clarke M, Reilly F, Wallace E, Brabazon D, Marshall B. Does endurance fatigue increase the risk of injury when performing drop jumps? *J Strength Cond Res.* 2009;23(5):1448–55.
  57. Nilstad A, Andersen TE, Kristianslund E, Bahr R, Myklebust G, Steffen K, et al. Physiotherapists can identify female football players with high knee valgus angles during vertical drop jumps using real- Time observational screening. *J Orthop Sports PhysTher.* 2014;44(5):358–65.
  58. Nilstad A, Andersen TE, Bahr R, Holme I, Steffen K. Risk factors for lower extremity injuries in elite female soccer players. *Am J Sports Med.* 2014;42(4):940–8.
  59. Nilstad A, Krosshaug T, Mok KM, Bahr R, Andersen TE. Association between anatomical characteristics, knee laxity, muscle strength, and peak knee valgus during vertical drop-jump landings. *J Orthop Sports PhysTher.* 2015;45(12):998–1005.
  60. Chiaia TA, Maschi RA, Stuhr RM, Rogers JR, Sheridan MA, Callahan LR, et al. A musculoskeletal profile of elite female soccer players. *HSS J.* 2009;5(2):186–95.
  61. Jones PA, Herrington LC, Munro AG, Graham-Smith P. Is there a relationship between landing, cutting, and pivoting tasks in terms of the characteristics of dynamic valgus? *Am J Sports Med.* 2014;42(9):2095–102.
  62. Marshall B, Franklyn-Miller A, Moran K, King E, Richter C, Gore S, et al. Biomechanical symmetry in elite rugby union players during dynamic tasks: an investigation using discrete and continuous data analysis techniques. *BMC Sports Sci Med Rehabil* [Internet]. 2015;7(1):1–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13102-015-0006-9>
  63. Bowen C, Weaver K, Relph N, Greig M. The efficacy of lower limb screening tests in predicting playerload within a professional soccer academy. *J Sport Rehab.* 2018;27(4):1–6.
  64. Charalambous L, von Lieres und Wilkau HC, Potthast W, Irwin G. The effects of artificial surface temperature on mechanical properties and player kinematics during landing and acceleration. *J Sport Heal Sci* [Internet]. 2015;5(3):355–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2015.01.013>
  65. Rodríguez C, Echegoyen S, Aoyama T. The effects of “prevent injury and enhance performance program” in a female soccer team. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(5):659–63.
  66. Butler RJ, Russell ME, Queen R. Effect of soccer footwear on landing mechanics. *Scand J Med Sci Sport.* 2012;24(1):129–35.
  67. Butler RJ, Willson JD, Fowler D, Queen RM. Gender differences in landing mechanics vary depending on the type of landing. *Clin J Sport Med.* 2013;23(1):52–7.
  68. Celebrini R, Eng J, Miller W, Ekegren C, Johnston J, Depew T, et al. The effect of a novel movement strategy in decreasing ACL risk factors in female adolescent soccer players: a randomized controlled trial. *Clin J Sport Med.* 2014;24(2):134–41.
  69. Steffen K, Emery CA, Romiti M, Kang J, Bizzini M, Dvorak J, et al. High adherence to a neuromuscular injury prevention programme (FIFA 11+) improves functional balance and reduces injury risk in Canadian youth female football players: A cluster randomised trial. *Br J Sports Med.* 2013;47(12):794–802.
  70. Stroube BW, Myer GD, Brent JL, Ford KR, Heidt RS, Hewett TE. Effects of task-specific augmented feedback on deficit modification during performance of the tuck-jump exercise. *J Sport Rehabil.* 2013;22(1):7–18.

71. Cone J, Berry N, Goldfarb A, Henson R, Schmitz R, Wideman L, et al. Effects of an individualized soccer match simulation on vertical stiffness and impedance. *J Strength Cond Res.* 2012;26(8):2027–36.
72. DeBiasio JC, Russell ME, Butler RJ, Nunley JA, Queen RM. Changes in plantar loading based on shoe type and sex during a jump-landing task. *J Athl Train.* 2013;48(5):601–9.
73. Gastin PB, Meyer D, Huntsman E, Cook J. Increase in injury risk with low body mass and aerobic-running fitness in elite Australian football. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(4):458–63.
74. Greig M. Concurrent changes in eccentric hamstring strength and knee joint kinematics induced by soccer-specific fatigue. *PhysTher Sport* [Internet]. 2019;37:21–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pts.2019.02.003>
75. Klugman MF, Brent JL, Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Does an In-Season Only Neuromuscular Training Protocol Reduce Deficits Quantified by the Tuck Jump Assessment? *Clin Sports Med* [Internet]. 2011;30(4):825–40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2011.07.001>
76. Leporace G, Tannure M, Zeitoune G, Metsavaht L, Marocolo M, SoutoMaior A. Association between knee-to-hip flexion ratio during single-leg vertical landings, and strength and range of motion in professional soccer players. *Sport Biomech* [Internet]. 2018;3141:1–10. Available from: <http://doi.org/10.1080/14763141.2018.1494207>
77. Pruyne E, Watsford M, Murphy A, Pine M, Spurrs R, Cameron M, et al. Seasonal variation of leg stiffness in professional Australian rules footballers. 2013;27(7):1775–9.
78. Brogden CM, Marrin K, Page RM, Greig M. The efficacy of elastic therapeutic tape variations on measures of ankle function and performance. *PhysTher Sport* [Internet]. 2018;32:74–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pts.2018.04.019>
79. Rath M, Stearne D, Walker C, Cox J. Effect of foot type on knee valgus, ground reaction force, and hip muscle activation in female soccer players. *J Sport Med Phys.* 2016;56(5):546–53.
80. Sigward SM, Cesar GM, Havens KL. Predictors of frontal plane knee moments during side-step cutting to 45 and 110 degrees in men and women: Implications for anterior cruciate ligament injury. *Clin J Sport Med.* 2015;25(6):529–34.
81. Havens KL, Sigward SM. Joint and segmental mechanics differ between cutting maneuvers in skilled athletes. *Gait Posture* [Internet]. 2015;41(1):33–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.08.005>
82. Havens KL, Sigward SM. Cutting mechanics: Relation to performance and anterior cruciate ligament injury risk. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(4):818–24.
83. Imwalle L, Myer G, Ford K, Hewett T. Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. *Strength Cond.* 2009;23(8):2223–30.
84. Beaulieu ML, Lamontagne M, Xu L. Lower limb muscle activity and kinematics of an unanticipated cutting manoeuvre: A gender comparison. *Knee Surgery, Sport TraumatolArthrosc.* 2009;17(8):968–76.
85. Collins JD, Almonroeder TG, Ebersole KT, O'Connor KM. The effects of fatigue and anticipation on the mechanics of the knee during cutting in female athletes. *Clin Biomech.* 2016;35:62–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.04.004>
86. Cortes N, Blount E, Ringleb S, Onate JA. Soccer-specific video simulation for improving movement assessment. *Sport Biomech.* 2011;10(1):22–34.
87. Cortes N, Greska E, Kollock R, Ambegaonkar J, Onate JA. Changes in lower extremity biomechanics due to a short-term fatigue protocol. *J Athl Train.* 2013;48(3):306–13.
88. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ. Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *Am J Sports Med.* 2009;37(11):2194–200.

89. Jamison ST, McNeilan RJ, Young GS, Givens DL, Best TM, Chaudhari AMW. Randomized controlled trial of the effects of a trunk stabilization program on trunk control and knee loading. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(10):1924–34.
90. Lee MJC, Lloyd DG, Lay BS, Bourke PD, Alderson JA. Different visual stimuli affect muscle activation at the knee during sidestepping. *J Sports Sci* [Internet]. 2019;37(10):1123–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1545276>
91. Monfort SM, Pradarelli JJ, Grooms DR, Hutchison KA, Onate JA, Chaudhari AMW. Visual-Spatial Memory Deficits Are Related to Increased Knee Valgus Angle During a Sport-Specific Sidestep Cut. *Am J Sports Med.* 2019;47(6):1488–95.
92. Mornieux G, Gehring D, Fürst P, Gollhofer A. Anticipatory postural adjustments during cutting manoeuvres in football and their consequences for knee injury risk. *J Sports Sci* [Internet]. 2014;32(13):1255–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2013.876508>
93. Raja Azidin RMF, Sankey S, Drust B, Robinson MA, Vanrenterghem J. Effects of treadmill versus overground soccer match simulations on biomechanical markers of anterior cruciate ligament injury risk in side cutting. *J Sports Sci.* 2015;33(13):1332–41.
94. Robinson MA, Donnelly CJ, Tsao J, Vanrenterghem J. Impact of knee modeling approach on indicators and classification of anterior cruciate ligament injury risk. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(7):1269–76.
95. Sankey SP, Raja Azidin RMF, Robinson MA, Malfait B, Deschamps K, Verschueren S, et al. How reliable are knee kinematics and kinetics during side-cutting manoeuvres? *Gait Posture* [Internet]. 2015;41(4):905–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.03.014>
96. Savage RJ, Lay BS, Wills JA, Lloyd DG, Doyle TLA. Prolonged running increases knee moments in sidestepping and cutting manoeuvres in sport. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2018;21(5):508–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2017.07.007>
97. Whyte EF, Richter C, O’connor S, Moran KA. The effect of high intensity exercise and anticipation on trunk and lower limb biomechanics during a crossover cutting manoeuvre. *J Sports Sci* [Internet]. 2017;36(8):889–900. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1346270>
98. Whyte EF, Richter C, O’Connor S, Moran KA. Effects of a dynamic core stability program on the biomechanics of cutting maneuvers: A randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sport.* 2018;28(2):452–62.
99. Whyte EF, Richter C, O’Connor S, Moran KA. Investigation of the effects of high-intensity, intermittent exercise and unanticipation on trunk and lower limb biomechanics during a side-cutting maneuver using statistical parametric mapping. Vol. 32, *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2018. 1583–1593 p
100. Landry SC, McKean KA, Hubley-Kozey CL, Stanish WD, Deluzio KJ. Gender differences exist in neuromuscular control patterns during the pre-contact and early stance phase of an unanticipated side-cut and cross-cut maneuver in 15-18 years old adolescent soccer players. *J ElectromyogrKinesiol* [Internet]. 2009;19(5):e370–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.08.004>
101. Brock E, Zhang S, Milner C, Liu X, Brosnan JT, Sorochan JC. Effects of two football stud configurations on biomechanical characteristics of single-leg landing and cutting movements on infilled synthetic turf. *Sport Biomech.* 2014;13(4):362–79.
102. Serpell BG, Scarvell JM, Pickering MR, Ball NB, Perriman D, Warmenhoven J, et al. Vertical stiffness is not related to anterior cruciate ligament elongation in professional rugby union players. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2016;2(1):e000150.
103. Sheu CL, Gray AM, Brown D, Smith BA. Sex Differences in Knee Flexion Angle During a Rapid Change of Direction While Running. *Orthop J Sport Med.* 2015;3(12):1–5.

104. Jones PA, Herrington LC, Graham-Smith P. Technique determinants of knee joint loads during cutting in female soccer players. *Hum MovSci* [Internet]. 2015;42:203–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2015.05.004>
105. Jones PA, Herrington L, Graham-Smith P. Braking characteristics during cutting and pivoting in female soccer players. *J ElectromyogrKinesiol* [Internet]. 2016;30:46–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.05.006>
106. McBurnie AJ, Dos'Santos T, Jones PA. Biomechanical Associates of Performance and Knee Joint Loads During A 70–90° Cutting Maneuver in Subelite Soccer Players. *J Strength Cond Res*. 2019;1.
107. McGovern A, Dude C, Munkley D, Martin T, Wallace D, Feinn R, et al. Lower limb kinematics of male and female soccer players during a self-selected cutting maneuver: Effects of prolonged activity. *Knee* [Internet]. 2015;22(6):510–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.knee.2015.05.005>
108. Potter D, Reidinger K, Szymialowicz R, Martin T, Dione D, Feinn R, et al. Sidestep and crossover lower limb kinematics during a prolonged sport-like agility test. *Int J Sports PhysTher* [Internet]. 2014;9(5):617–27.
109. Meinerz CM, Malloy P, Geiser CF, Kipp K. Anticipatory effects on lower extremity neuromechanics during a cutting task. *J Athl Train*. 2015;50(9):905–13.
110. Greska EK, Cortes N, Ringleb SI, Onate JA, Van Lunen BL. Biomechanical differences related to leg dominance were not found during a cutting task. *Scand J Med Sci Sport*. 2016;27(11):1328–36.
111. Dugdale JH, Arthur CA, Sanders D, Hunter AM. Reliability and validity of field-based fitness tests in youth soccer players. *Eur J Sport Sci*. 2018;1391.



## Artículo 2. Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (soccer) players: a systematic review.



International Journal of  
Environmental Research  
and Public Health



Systematic Review

# Exercise-Based Training Strategies to Reduce the Incidence or Mitigate the Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injury in Adult Football (Soccer) Players: A Systematic Review

Jesús Olivares-Jabalera <sup>1,2,\*</sup>, Alberto Filter-Ruger <sup>2</sup>, Thomas Dos'Santos <sup>2,3,4</sup>, Jose Afonso <sup>5</sup>,  
Francesco Della Villa <sup>6</sup>, Jaime Morente-Sánchez <sup>2</sup>, Víctor Manuel Soto-Hermoso <sup>1</sup> and Bernardo Requena <sup>1,2</sup>

- <sup>1</sup> HUMAN Lab, Sport and Health University Research Institute (iMUDS), University of Granada, 18016 Granada, Spain; vsoto@ugr.es (V.M.S.-H.); bernardorequena@icloud.com (B.R.)
  - <sup>2</sup> FSI Sport Research Lab, 18016 Granada, Spain; albertofr\_91@hotmail.com (A.F.-R.); t.dossantos@mmu.ac.uk (T.D.); jaime.morente@ugr.es (J.M.-S.)
  - <sup>3</sup> Department of Sport and Exercise Sciences, Musculoskeletal Science and Sports Medicine Research Centre, All Saints Building, Manchester Campus John Dalton Building, Manchester Campus, Manchester Metropolitan University, Manchester M15 6BH, UK
  - <sup>4</sup> Manchester Institute of Sport 2.01, Manchester Metropolitan University, Manchester M1 7EL, UK
  - <sup>5</sup> Centre for Research, Education, Innovation and Intervention in Sport, Faculty of Sports of the University of Porto, Rua Dr. Plácido Costa, 91, 4200-450 Porto, Portugal; jneves@fade.up.pt
  - <sup>6</sup> Education and Research Department, Isokinetic Medical Group, FIFA Medical Centre of Excellence, 40132 Bologna, Italy; f.dellavilla@isokinetic.com
- \* Correspondence: jesusolivares@gmail.com; Tel: +34-626-024-6533



Citation: Olivares-Jabalera, J.; Filter-Ruger, A.; Dos'Santos, T.; Afonso, J.; Della Villa, F.; Morente-Sánchez, J.; Soto-Hermoso, V.M.; Requena, B. Exercise-Based Training Strategies to Reduce the Incidence or Mitigate the Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injury in Adult Football (Soccer) Players: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 13351. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413351>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 27 October 2021

Accepted: 14 December 2021

Published: 18 December 2021

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most concerning injuries for football players. The aim of this review is to investigate the effects of exercise-based interventions targeting at reducing ACL injury rate or mitigating risk factors of ACL injury in adult football players. Following PRISMA guidelines, a systematic search was conducted in CINAHL, Cochrane Library, PubMed, Scopus, SPORTDiscus and Web of Science. Studies assessing the effect of exercise-based interventions in ACL injury incidence or modifiable risk factors in adult football players were included. 29 studies evaluating 4502 male and 1589 female players were included (15 RCT, 8 NRCT, 6 single-arm); 14 included warm-up, 7 resistance training, 4 mixed training, 3 balance, 1 core stability and 1 technique modification interventions. 6 out of 29 studies investigated the effect of interventions on ACL injury incidence, while the remaining 23 investigated their effect on risk factors. Only 21% and 13% studies evaluating risk of injury variables reported reliability measures and/or smallest worthwhile change data. Warm-up, core stability, balance and technique modification appear effective and feasible interventions to be included in football teams. However, the use of more ecologically valid tests and individually tailored interventions targeting specific ACL injury mechanisms are required.

**Keywords:** knee injuries; injury prevention; movement quality; feasible interventions

### 1. Introduction

Football (soccer) is one of the most popular sports, with more than 260 million players around the world [1]. Football is also a sport exposed to a high risk of injury, considering that the overall injury incidence is 6.6 injuries per 1000 players hours [2]. Given that being exposed to a high number of injuries reduce the chances to sporting success [3], injury management (i.e., mitigation and maximising player availability) is one of the most concerning issues in football clubs. Specifically, lower injury incidence rates has been correlated to superior performance (i.e., higher league position, more games won, more goals scored, greater goal difference and total points) in professional football [4], while injuries that cause a high injury burden (i.e., those requiring a high number of days lost, such as ligament sprains and joint injuries to the knee and the ankle) are more likely to

## RESUMEN

La lesión de ligamento cruzado anterior (LCA) es una de las lesiones que genera mayor preocupación en jugadores de fútbol. El objetivo de la presente revisión es investigar los efectos de intervenciones de ejercicio físico en la incidencia, así como en los factores de riesgo de lesión de LCA en futbolistas adultos. Siguiendo la guía PRISMA, se realizó una búsqueda sistemática en CINAHL, Cochrane Library, PubMed, Scopus, SPORTDiscus y Web of Science. Se incluyeron todos los artículos que evaluaran los efectos de intervenciones de ejercicio físico tanto en la incidencia, como en los factores de riesgo modificables de lesión de LCA en futbolistas adultos. Tras la búsqueda, se incluyeron 29 estudios que evaluaron un total de 4502 hombres y 1598 mujeres futbolistas (15 ensayos controlados aleatorizados, 8 estudios no aleatorizados, y 6 estudios de un solo grupo): 14 analizaron intervenciones de calentamiento, 7 de entrenamiento resistido, 4 de entrenamiento mixto, 3 de equilibrio, 1 de estabilidad de core y 1 de modificación técnica. 6 de los 29 estudios investigaron el efecto de sus intervenciones en la incidencia de lesión de LCA, mientras que los 23 restantes hicieron lo propio en sus factores de riesgo predisponentes. Tan solo el 21% y el 13% de los estudios que evaluaron variables asociadas con el riesgo de lesión aportaron medidas de fiabilidad y/o de mínimo cambio relevante, respectivamente. Programas de calentamiento, estabilidad de core, equilibrio y modificación técnica parecen intervenciones efectivas y aplicables que pueden ser implementadas en equipos de fútbol. No obstante, se requiere la inclusión de test con una mayor validez externa, así como intervenciones individualmente diseñadas para abordar los mecanismos de lesión de LCA específicos en fútbol.

Palabras clave: intervenciones aplicables, prevención de lesiones, lesiones de rodilla, calidad de movimiento.

## ABSTRACT

Anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most concerning injuries for football players. The aim of this review is to investigate the effects of exercise-based interventions targeting at reducing ACL injury rate or mitigating risk factors of ACL injury in adult football players. Following PRISMA guidelines, a systematic search was conducted in CINAHL, Cochrane Library, PubMed, Scopus, SPORTDiscus and Web of Science. Studies assessing the effect of exercise-based interventions in ACL injury incidence or modifiable risk factors in adult football players were included. 29 studies evaluating 4502 male and 1589 female players were included (15 RCT, 8 NRCT, 6 single-arm): 14 included warm-up, 7 resistance training, 4 mixed training, 3 balance, 1 core stability and 1 technique modification interventions. 6 out of 29 studies investigated the effect of interventions on ACL injury incidence, while the remaining 23 investigated their effect on risk factors. Only 21% and 13% studies evaluating risk of injury variables reported reliability measures and/or smallest worthwhile change data. Warm-up, core stability, balance and technique modification appear effective and feasible interventions to be included in football teams. However, the use of more ecologically valid tests and

individually tailored interventions targeting specific ACL injury mechanisms are required.

Keywords: feasible interventions; injury prevention; knee injuries; movement quality.

## INTRODUCTION

Football (soccer) is one of the most popular sports, with more than 260 million players around the world [1]. Football is also a sport exposed to a high risk of injury, considering that the overall injury incidence is 6.6 injuries per 1000 players hours [2]. Given that being exposed to a high number of injuries reduce the chances to sporting success [3], injury management (i.e., mitigation and maximising player availability) is one of the most concerning issues in football clubs. Specifically, lower injury incidence rates has been correlated to superior performance (i.e., higher league position, more games won, more goals scored, greater goal difference and total points) in professional football [4], while injuries that cause a high injury burden (i.e., those requiring a high number of days lost, such as ligament sprains and joint injuries to the knee and the ankle) are more likely to impact negatively on team performance [5]. At the team level, the performance decrement associated to a high injury incidence can lead to losses of ~£45 million per season, on average, in English Premier League teams [6].

For the football player, one of the most concerning injuries is the anterior cruciate ligament (ACL) injury given its devastating consequences, such as the increased risk of developing early posttraumatic knee osteoarthritis [7,8], or the high rate of reinjuries to the graft or the opposite knee [9,10,11,12,13]. Furthermore, in professional football, only 60% of players who ruptured their ACL competed at the highest level 5 years later [14]. Additionally, ACL injuries in football causes, on average, an injury burden of 29.8 days per 1000 h of exposure [15]. Even though the ligament injury rate in European male professional football have decreased during the 2000s [16], the ACL injury rate showed no declining trend [17]. Therefore, efforts aimed at reducing the rate of ACL injury in football appear to require further development, being non-contact or indirect contact injuries the specific focus, as they correspond to the 88% of all ACL injuries [18] and could be targeted by injury risk mitigation programs [19]. Consequently, these non-contact or indirect contact ACL injuries will be the focus of this systematic review.

ACL injury is not an injury with a high incidence, with an average of 0.43–0.60 injuries per team per season in football professional teams [17,20]. As a result of the low number of ACL injuries suffered per season, some potentially effective interventions could not be able to reach significance when rate is used to evaluate their efficacy [21,22]. As an alternative, in the purpose of reducing ACL injuries, intervention programs could be also developed with the aim of modifying risk factors of ACL injury [23], and efficacy could be assessed by measuring changes in proxy factors (i.e., surrogates of injury) [24,25]. Specifically, the identification of modifiable risk factors would increase the potential for screening athletes at higher risk and targeting interventions to address the specific

mechanisms that increase ACL injury risk [26,27]. In football, ACL injuries mostly occur during cutting actions [18,28,29] with visual observational analyses confirming a mechanism of knee valgus, abducted hip, flat and externally rotated foot, and ipsilateral trunk tilt and contralateral rotation [18]. These aberrant movements have been shown to increase the multiplanar knee joint loads and, hence, increase the ACL load [30,31]. Additionally, neuromuscular factors have been shown to have implications for ACL injury [23,27]. In this sense, different metrics of hamstrings-to-quadriceps (H/Q) ratio could potentially provide useful information regarding the load that the ACL is assuming, as coactivation of hamstrings and quadriceps could protect the knee against anterior shear forces at the tibia [32]. Furthermore, balance ability could have an influence in ACL injuries, given the positive contribution of a higher hamstrings, hip and trunk muscle activation in supporting and reducing knee joint loadings [33]. Although findings are still inconclusive, movement quality and competency deficits may be further linked to greater joint loads [26]. Other risk factors such as restricted ankle or hip mobility could predispose the knee higher loads and increase the risk of ACL injury [34,35]. Therefore, some of these biomechanical, neuromuscular and physical capabilities could be potentially targeted with the purpose of modifying the risk factors of ACL injury [36].

To date, several systematic reviews have been published in the field of ACL injury prevention in athletes [21,23,37,38,39,40,41]. The last research in football players is the work published by Grimm and collaborators [21], where only randomized-controlled trials (RCT) in which ACL injury incidence was reported were included. Even though RCTs are considered level 1 of evidence, they are usually difficult to implement in the “real-world” environment, and other study designs (i.e., non-randomized, NRCT) could be additional sources of evidence used by practitioners to guide their practice and provide recommendations to their athletes [42]. On the other hand, at the best of our knowledge, the most recent systematic review that took into consideration the effect of preventive programs in both ACL injury incidence and risk factors of ACL injury in football players was conducted 12 years ago, by Alentorn-Geli et al. [23]. However, given that football has evolved [43] and new strategies to screen injuries have been developed in recent years [44], further research examining these new practices are required. Therefore, the aim of the present study is to systematically review the effects of exercise-based interventions on ACL injury rates and incidence or mitigating risk factors of ACL injury in adult football players. Thus, the review questions are summarised as follows: which exercise strategies are proposed to effectively reduce the incidence of ACL injuries and/or mitigate modifiable risk factors of ACL injury in football players? Are exercise-based training interventions feasible to implement in the context of the football player?

## MATERIAL AND METHODS

The systematic review was conducted following the guidelines of the Preferred Reporting Items and Meta-analysis [45]. The protocol for this review was registered at PROSPERO (ID = CRD42020205669).

### **Search Strategy**

The same systematic search was performed in CINAHL, Cochrane Library, Pub-med, Scopus, SPORTDiscus (EBSCO) and Web of Science. The following search strategy and key words were used, adapted for each database to limit the number of entries which could potentially be of interest (i.e., title, abstract and key words in Scopus, SportDiscus and CINAHL and all fields Cochrane, Pubmed and Web of Science): (ACL OR “anterior cruciate ligament”) AND (soccer OR football\*) and (intervention OR pro-program OR programme OR training OR modif\* OR prevent\* OR reduc\* OR exercise OR correct\*). The search was performed at January 2021, there were no restrictions for year of publication and only English language published studies were reviewed. Reference lists of the included studies were also searched to identify potentially missed, relevant studies.

### Eligibility Criteria

All types of exercise-based interventional studies (i.e., RCT and NRCT) aiming at both reducing ACL injury incidence and mitigating modifiable risk factors of ACL injury were included, regardless of its study design. Given the current limitations of study designs and the inappropriate methods used when aiming at establishing risk factors of injuries [22], any outcome variable that has previously been associated to ACL injury in the literature was considered and discussed according to the strength of its association (Table 1). The PICOS methods was used to set the criteria for study inclusion (Table 1).~

**Table 1.** Criteria for inclusion according to the PICOS method.

Definition	Inclusion criteria	Exclusion criteria
<b>Population</b>	Adult ( $\geq 16$ and $\leq 40$ years old) football players (i.e. Association football) of any level  Both male and female  Not having suffered a severe injury the previous 2 years	Studies including different cohorts of athletes apart from football players (e.g. basketball, volleyball, handball) in which no sub-analysis by sport was performed
<b>Intervention</b>	Exercise or training-based interventions lasted at least 4 weeks	Interventions performed with exogenous modalities (i.e. bracing, taping...) or those exercise-based interventions lasting less than 4 weeks.
<b>Comparator</b>	Control group data if available (although not necessarily)	No exclusion criteria by comparator
<b>Outcome</b>	Either contact or non-contact ACL injury incidence or rate of injury  Test measurements evaluating any modifiable risk factor (i.e. potentially targeted by exercise-based interventions) previously reported to have an influence in ACL injury (27,28,34,56), such as biomechanical, neuromuscular and/or physical tests (e.g. biomechanics of landing or	Overall injury incidence not explicitly reporting ACL type injuries  Test measurements evaluating non-modifiable risk factors (e.g. anatomical)

cutting actions, H/Q ratio, balance measures, ankle or hip range of motion...)

<b>Study design</b>	Randomised-controlled trials	Systematic reviews, meta-analysis, conference papers, book chapters or studies published in languages other than English.
	Non-randomized studies	
	Single-arm studies	

ACL anterior cruciate ligament, H/Q hamstrings to quadriceps

### Study Selection

Two authors (JOJ and AFR) independently performed the study selection based on title and abstract screening. Full-text of those studies in which there were not absolute evidence for their exclusion, were retrieved and further analysed. Those cases where a discrepancy existed were resolved by an in-depth discussion between the authors (JOJ and AFR). If disagreements persisted, they were solved by a third author (TDS). PRISMA flow diagram for the description of the overall process is depicted in Figure 1.

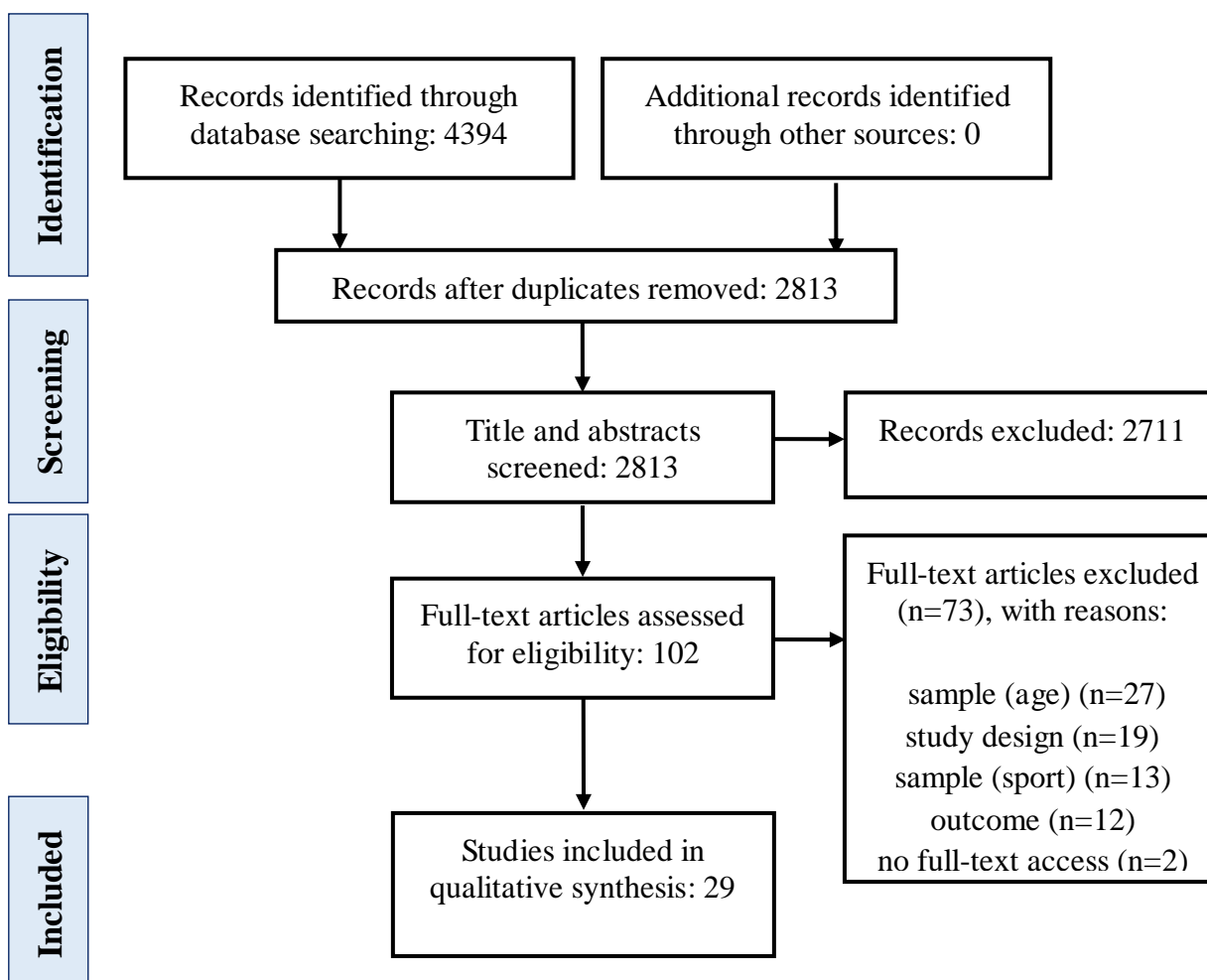


Figure 1. PRISMA flow diagram for the depiction of the overall process.

### Data Extraction

Data of the included articles were subsequently extracted in an Excel spreadsheet in the same way that literature search was performed. The following data was extracted from each study: title, author(s), publication year, participant sex, participant age, number of participants in experimental and control groups, participant level, compliance rate, number of dropouts, supervisor of the program, type, contents and characteristics of the intervention, comparison group, outcome of interest, reliability data, smallest worthwhile change and changes in the outcome measures of interest from baseline to following the intervention. If the case of data elements of interest were missing or unclear, the study authors were contacted for clarification. In those studies in which no effect sizes (ES) were reported, the ES were manually calculated (ESc) from the extracted data using the corrected Hedges'g proposed by Turner et al. [47]. The scale proposed by Hopkins et al. [48] was used for interpretations of the magnitude of results, whereby the magnitude of ES was considered as trivial ( $\leq 0.20$ ), small (0.20–0.59), moderate (0.60–1.19), large (1.20–1.99), or very large ( $\geq 2.00$ ).

### **Risk of Bias Assessment**

Risk of bias for RCTs was assessed using the Version 2 of the Cochrane Tool for assessing risk of bias in randomised trials (RoB 2) [49]. In the case of NRCTs, the tool used was the Risk of Bias in Non-Randomized Studies of Interventions tool (ROBINS-I) [50].

The above tools for assessing risk of bias are domain-based evaluation tools that are currently the frequently and preferred method to assess the credibility of study findings over quality checklists and quality scales [51]. The RoB 2 is a domain-based risk of bias assessment tool rigorously structured into five bias domains: (1) bias arising from the randomisation process, (2) bias due to deviations from intended interventions, (3) bias due to missing outcome data, (4) bias in measurement of the outcome, and (5) bias in selection of the reported result [49]. Since the aim of the review was to investigate the effect of assignment to the intervention at baseline instead of the effect of adhering to it (i.e., effectiveness vs efficacy), an intention-to-treat analysis was considered. For risk of bias assessment of cluster-RCT, a supplement of the RoB 2 proposed by the same authors was used. Depending on the judgments in each of them, an overall risk of bias for the result is established. The ROBINS-I has been designed in order that confounding factors and co-interventions that may potentially lead to bias in NRCT could be identified [50]. Previous injury, level, age, sex and exposure to training and competitions were considered confounders as they can influence the risk factors of ACL injury [23,27].

Two authors independently performed the RoB 2 and ROBINS-I (JAN and JMS) tools. After agreements and disagreements were discussed, in cases in which there persisted any disagreement, a third author (JOJ) was consulted for the final decision.

## **RESULTS**

### **Study Selection**

Details of the search results are represented in Figure 1. The systematic search performed through the six previously mentioned databases provided 4394 records which were gathered in Endnote X9 software. After duplicates were identified and removed, 2813 records remained, reducing to 102 following screening by title and abstract. After full-texts were retrieved and further analysed, 29 studies met the eligibility criteria and were included in the systematic review. One study was excluded because, although the proposed programme consisted of 3 weeks of preventative training plus 5 months of maintenance, no information was reported regarding the maintenance phase [52]. Therefore, it is not possible to determine if this part targets the same components than the previous phase, and then, the programme did not reach the minimum 4-week duration established as reference criteria. Reasons for exclusion are detailed in Figure 1. No study of the references lists met the eligibility criteria.

### **Characteristics of Included Articles**

The 29 studies included in the systematic review investigated the effects of exercise-based interventions on either reducing the incidence of ACL injury (6 studies) [53,54,55,56,57,58] or mitigating risk factors of ACL injury (23 studies) [59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81], where a sum of 6091 adult (male: 4502, female: 1589) football players were evaluated.

The study designs used were 11 parallel RCT [60,62,63,64,65,68,69,73,78,80,81], 4 cluster RCT [53,56,57,58], 8 NRCT [54,55,59,66,67,72,75,79] and 6 single-arm studies [61,70,71,74,76,77]. 10 out of 15 RCT studies implemented at least one of the following four different preventative warm-up (WU) programmes (Table 2): (i) FIFA 11 [80], (ii) FIFA 11+ [56,57,58,60,63,73,78], (iii) Prevent injury and Enhance Performance (PEP) Program [53], and (iv) core stability training [65]. Additionally, the other 5 studies implemented resistance training (RT)- [62,64], balance- [68,69] or mixed training (MT)-based interventions [81]. Four out of these 15 RCTs were evaluated through its ability to reduce contact, non-contact or overall ACL injury incidence [53,56,57,58], while the other 9 were evaluated through its effect on different ACL injury risk factors, such as different measures of static and dynamic balance ability [60,63,68,69,73], H/Q ratios [62,64,65,80], biomechanics of dynamic tasks [65,73,80], Functional Movement Score (FMS) [78,81], and ankle ROM and symmetry in hop tests [60]. Only three studies reported reliability measures of their outcome data [65,68,78]; one study reported the smallest worthwhile change (SWC) [73]; nine studies adequately described who supervised the programme [53,56,57,60,64,65,73,78,81]; and five studies provided the compliance rate [53,56,58,62,80].



**Table 2. Characteristics of the randomized-controlled trials included in the systematic review.**

Reference	Participants Level	Intervention	Comparator	Outcomes	Compliance rate	Reliability /SWC	Results	Comments
Gilchrist et al. (2008)	1435 female soccer player (IG=583, age: 19.88 years; CG=852, age: 19.88 years) NCAA Division I	<b>IG:</b> PEP Program <b>Duration:</b> 12 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> < 30 min <b>Training components:</b> stretching, strengthening, plyometrics, agilities, and avoidance of high-risk positions depicted on a video. Replacement exercises to alleviate boredom.	CG: their customary warm-up.	Contact ACL injury, and non-contact ACL injury rate per 1000 AE.	72%	NA	↓ <b>ACL injury rate in practice, and non-contact ACL injury rate</b> in those with <b>history</b> of past ACL injury and <b>late</b> in season in <b>IG</b> . ↔ <b>ACL injury rate and non-contact ACL injury rate</b> in <b>IG and CG</b> .	Supervision: certified athletic trainer. 8 dropouts in IG. Low compliance rate in IG. Lack of control the drills executed and of the uses of the program.
Steffen et al. (2008)	31 adolescent female football players (IG=17, CG=14; age: 17.1±0.8 years) Elite sport high school	<b>IG:</b> FIFA 11 <b>Duration:</b> 10 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 15 min <b>Training components:</b> 10 exercises focusing on core stability, neuromuscular control, eccentric hamstrings strength and agility.	CG: regular warm-up (running and ball exercises)	Conventional H/Q ratio at 60 and 240 °/s and functional H/Q at 60 °/s. Frontal plane knee angles during CMJ and DVJ.	73%	NR/ NR	↔ <b>No differences</b> between groups in either <b>H/Q ratios</b> or <b>valgus angle</b> during CMJ and DVJ (p>0.05)	Supervision: project coordinator. Unbalanced groups. 2 dropouts in a small sample. Low power to detect differences.
Brughelli et al. (2010)	28 soccer players (IG=13, age: 20.7±1.6 years; CG=11, age: 21.5±1.3 years). Professional	<b>IG:</b> Additional eccentric training <b>Duration:</b> 4 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> 10-15 min <b>Training components:</b> 4-5 sets from 1-2 exercises, of 4 different eccentric exercises: eccentric box drops, lunge pushes, forward deceleration steps, and reverse nordic hamstrings.	CG: regular field-based warm-up, but also training the nordic hamstrings exercise (once a week, total of 2 sets of 6 reps)	H/Q ratio at 60 °/s	100%	Acknowledges another reliability data/ NR	↔ <b>Q/H ratio</b> at 60 °/s in both groups (p>0.05)	Supervisor not specified. Drop of participants in CG (3). Low volume of additional training, and only 4 weeks.
Daneshjoo et al. (2010)	36 male soccer players (IG1=12, age: 19.2±0.9; IG2=12, age:	<b>IG1:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 8 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 20-25 min	CG: regular field-based warm-up	Error of proprioception test at 30, 45 and 60°.	NR	NR/ NR	↔ <b>No significant difference</b> between groups in either <b>proprioception</b> or <b>static balance</b> .	Supervisor not specified.

	17.7±0.4; CG=12, age: 19.7±1.6) Professional	<b>Training components:</b> (1) running exercises; (2) strength, balance, muscle control and core stability; and (3) advanced running exercises. <b>IG2:</b> HarmoKnee <b>Duration:</b> 8 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 20-25 min <b>Training components:</b> (1) warm up; (2) muscle activation; (3) balance; (4) strength; and (5) core stability		Distance excursion in SEBT. Time in the stork stand balance test, with open and close eyes.				↑ <b>Static balance</b> with eyes <b>opened</b> in the <b>11+</b> (ES <sub>c</sub> =2.25, p=0.043) and <b>HarmoKnee</b> (ES <sub>c</sub> =0.81, p=0.011) and <b>closed</b> in the <b>11+</b> (ES <sub>c</sub> =2.78, p=0.027; <b>HarmoKnee</b> (ES <sub>c</sub> =2.45, p=0.022) in post- vs pre-intervention. ↑ <b>SEBT</b> in the <b>11+</b> (ES <sub>c</sub> = 0.82, p=0.004) and <b>HarmoKnee</b> (ES <sub>c</sub> =0.91, p=0.011) (time x group interaction: F=3.767, p=0.034).	
Gioftsidou et al. (2012)	38 male soccer players (age: 22.7±3.5 years) 1 <sup>st</sup> Greek division	<b>IG:</b> Balance training program <b>Duration:</b> 6 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 20 min <b>Training components:</b> four different soccer-specific (controlling, passing, heading) balance exercises performed on an hemi-cylindrical board and on an hemi-spherical board.	CG: standard soccer training	Total (SI), anterior-posterior (API) and medial-lateral (MLI) index. Maintenance time for the anterior-posterior (APM) and medial-lateral (MLM) movements.	NR	ICC=0.67 -0.80/ NR	↓ <b>SI</b> (ES <sub>c</sub> =0.67-0.70), <b>API</b> (ES <sub>c</sub> =0.65-0.74) and <b>MLI</b> (ES <sub>c</sub> =1.36-1.62) in both legs in <b>IG</b> . ↑ <b>APM</b> (ES <sub>c</sub> =1.71-3.02) and <b>MLM</b> (ES <sub>c</sub> =1.49-1.53) in both legs in <b>IG</b>	Supervisor not specified. No p values.	
Impellizzeri et al. (2013)	81 male soccer players (CG=39, age: 23.3±2.8; IG=42, age: 23.7±3.7 years)	<b>IG:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 9 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 20 min <b>Training components:</b> (1) running exercises; (2) core and leg strength, balance and	CG: traditional warm-up	SEBT. Time-to-stabilisation on a single leg during a jump-landing task.	NR	SWD=0,2 *SD	↓ <b>Core stability</b> (8%) in <b>CG</b> . ↔ <b>Core stability</b> (1.5%) in <b>IG</b> . ↔ <b>Time-to-stabilisation</b> (1.5%) in <b>CG</b> .	Supervisor: fitness coach. Results rounded to decimals: problematic to detect differences.	

	Amateur	plyometric/agility; and (3) higher-speed running drills with cutting maneuvers. The key element is promotion of proper technique.		Unstable sitting posture test.			↓ <b>Time-to-stabilisation</b> (-1.8%) in <b>IG</b> .	
Silvers-Granelli et al. (2015)	1525 male soccer players (IG=675, age: 20.40±1.66; CG=850, age: 20.68±1.46 years) NCAA Division I & II	<b>IG:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 1 competitive season <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 20 min <b>Training components:</b> (1) running exercises that encompass cutting, COD, decelerating and proper landing techniques; (2) strength, plyometric and balance exercises that focus on core strength, eccentric control and proprioception; (3) running exercises.	CG: typical soccer warm-up	ACL injury incidence per 1000 AE	Mean utilization: 30.47±12.16 sessions (considered moderate; total 18 games and 51/52 sessions)	NA	↓ <b>ACL injury incidence rate</b> (0.362/1000AEs vs 0.085/1000AEs) in <b>IG</b> vs <b>CG</b> . ↓ <b>Likelihood of incurring an ACL injury</b> (RR=0.236 [0.193-0.93]; NNT=70, p<0.001)	Supervisor: certified athletic trainer. Weeks of training not reported.
Dello Iacono et al. (2016)	20 young male football players (IG=10, age: 18.7±0.67 years; CG=10, age: 19±0.063 years) Elite team national Israel league	<b>IG:</b> Core stability training <b>Duration:</b> 6 weeks <b>Frequency:</b> 5/week <b>Session duration:</b> ≈ 20 min <b>Training components:</b> the program consists of two parts: (1) improving balance and core stability, and (2) developing lower limb strength and neuromuscular control.	CG: regular warm-up	H/Q conventional ratio at both 1.05 and 3.14 rad/s IA from GRF peak in a one-leg CMJ.	NR	95% limits of agreeent: Isokinetic tests= - 1.32-1-75 Jump tests= - 2.12-1.96 ICC=0.92 5-0.978/ NR	↑ <b>H/Q ratio</b> at 1.05 rad/s (ES=0.61-0.75), and 3.14 rad/s (ES=0.71-0.95) in both legs in <b>IG</b> . ↔ <b>H/Q ratio</b> at both velocities in <b>CG</b> . ↓ <b>IA in IG</b> (-71.4%, ES=2.01). ↑ <b>IA in CG</b> (33.3%, ES=1.28).	Supervisor: researcher. Regular warm-up of the CG only consist of jogging, dynamic stretching and mobilisation.
Gonzalez-Jurado et al. (2016)	18 male soccer players (IG=9, age: 25.89±3.85; IG2=10, age: 23.33±3 years) 2 <sup>nd</sup> Spanish division	<b>IG1:</b> Proprioceptive training on stable surface <b>Duration:</b> 5 weeks (5 phases of one week each) <b>Frequency:</b> 5/week (first 4 phases) and 3/week (last phase) <b>Session duration:</b> ≈ 5 min (estimated) Training components: monopodal proprioceptive training exercises on a stable surface, adapted to	<b>IG2:</b> Proprioceptive training on unstable surface <b>Duration:</b> 5 weeks (5 phases of one week each) <b>Frequency:</b> 5/week (first 4 phases) and 3/week (last phase) <b>Session duration:</b> ≈ 5 min (estimated)	Star Excursion Balance Test (maximum distance reached in 8 directions)	NR	NR/ NR	↑ FRONT LEFT, ANTLAT LEFT, LAT RIGHT, BACK RIGHT, and ANTMED RIGHT (ES=0.13-0.55) in IG1 and FRONT RIGHT, FRONT LEFT, ANTLAT LEFT, LAT LEFT, POSTLAT RIGHT,	Supervisor not specified. Low sample size in each group. Daily training too short (5 min?).

		football, and executed using a 4-station circuit.	<b>Training components:</b> monopodal proprioceptive training exercises on different unstable surfaces (soft mat, Freeman Dish, Fit-sit Platform and Dyn-air), adapted to football, and executed using a 4-station circuit.				POST RIGHT, POST LEFT, POSTMED RIGHT, POSTMED LEFT, MED RIGHT, and ANTMED LEFT (ES=0.06-0.43) in IG2 ↑ <b>ANTMED RIGHT</b> in <b>IG</b> vs <b>IG2</b> (intergroup analysis)	
Silvers-Granelli et al. (2017)	1525 male soccer players (IG=675, age: 20.40±1.66; CG=850, age: 20.68±1.46 years) NCAA Division I & II	<b>IG:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 1 competitive season <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ~ 20 min <b>Training components:</b> (1) running exercises that encompass cutting, COD, decelerating and proper landing techniques; (2) strength, plyometric and balance exercises that focus on core strength, eccentric control and proprioception; (3) running exercises.	CG: typical soccer warm-up	ACL injury incidence per 1000 AE	NR	NA	↓ <b>ACL injury incidence rate</b> (RR=0.24[0.07-0.81], p=0.021) and <b>non-contact ACL injury incidence rate</b> (RR=0.25[0.06-1.15], p=0.049) in <b>IG</b> vs <b>CG</b> . ↔ <b>Contact ACL injury incidence rate</b> (RR=0.21[0.03-1.74], p=0.148) in <b>IG</b> vs <b>CG</b> .	Supervisor: certified athletic trainer. Low number of ACL injury. High amount of lost of follow ups in the IG (100 players). Per protocol analysis.
Ayala et al. (2017)	41 male youth football players (age: 16.8±0.7 years) Amateur	<b>IG1:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 4 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ~ 20-25 min <b>Training components:</b> (1) running exercises; (2) strength, balance, muscle control and core stability; and (3) advanced running exercises. <b>IG2:</b> HarmoKnee <b>Duration:</b> 4 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ~ 20-25 min <b>Training components:</b> (1) warm up; (2) muscle activation; (3)	CG: regular field-based warm-up	Y-Balance test. Ankle and hip ROM. Single hop for distance (asymmetry). Triple hop for distance (asymmetry).	NR	Acknowledges another reliability data/ NR	↑ <b>Triple hop LSI score</b> (very likely substantial difference [98%]), <b>anterior distance</b> (likely substantial difference [89%]), and <b>posteriomedial distance</b> (possibly substantial difference [60%]) in <b>FIFA 11+</b> vs <b>CG</b> ↔ <b>No main effects</b> in ankle ROM, LSI during single hop, posterolateral and	Supervisor: trained rehabilitation specialist. Low sample of each group.

		balance; (4) strength; and (5) core stability					composite score in FIFA 11 vs CG and in all variables (possibly/likely trivial) in HarmoKnee vs CG).	
Delextrat et al. (2018)	21 female soccer players (IG1=10, age: 21.8±4.0; IG2=11, age: 23.7±7.2) Amateur.	<b>IG1:</b> Strength endurance <b>Duration:</b> 7 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> 10-15 min <b>Training components:</b> 6 sets of 12-20 rep progressing by decreasing the inter-set rest period (90 to 45s) of two hamstring strength exercises: (1) seated hamstrings curl, and (2) stiff-legged deadlifts.	<b>IG2:</b> Strength <b>Duration:</b> 7 weeks <b>Frequency:</b> 3/week Session duration: 20-25 min <b>Training components:</b> 6-10 sets of 6RM progressing by increasing load (80 to 100% of 6RM), with 3-min inter-set rest, of two hamstring strength exercises: (1) seated hamstrings curl, and (2) stiff-legged deadlifts.	H/Q functional ratio before and after BEAST90 test	NR	Acknowledges another reliability data/NR	↔ <b>Functional H/Q ratio</b> before and after BEAST90 post-intervention only in <b>IG1</b> in dominant leg (p=0.045, n:0.38) (intervention x match interaction) ↑ <b>Functional H/Q ratio</b> before BEAST90 post-intervention in both <b>IG2</b> (+14.6%, d=0.73, p=0.01) and <b>IG1</b> in dominant leg (+4.9%, d=0.25, p=0.039)	Supervisor: experienced S&C coach. IG1 did not change the decline before/after BEAST90, but probably because the increase in the H/Q post- was higher than in IG2.
Rey et al. (2018)	23 male soccer players (age: 24.7±3.8 years) Amateur	<b>IG:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 6 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ~ 25 min <b>Training components:</b> Fifa 11+ consisting on 3 parts: (1) 6 running exercises at low speed; (2) 6 exercises targeting strength, balance, neuromuscular control and core stability with 3 level of increasing difficulty; (3) running exercises at moderate/high speed.	CG: standard warm up with jogging, ball exercises and active stretching.	FMS score, divided into FMSmove, FMSflex and FMSstab.	NR	Inter-rater: ICC=0.899 Intra-rater: ICC=0.991/NR	↔ No between groups differences.	Supervisor: fitness trainer. No p values shown.
Riela et al. (2019)	30 male soccer players (IG=15, age: 23.80±4.6; CG=15, age:	<b>IG:</b> Movement-based program <b>Duration:</b> 8 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ~ 30 min <b>Training components:</b> 15 min of exercises aimed at improving	CG: standard technical-tactical routing of warm up.	FMS score, divided into advances movement, mobility and stability	NR	NR/NR	↑ <b>Advanced movement</b> (F(1,28)=14.43, p=0.03) and <b>mobility</b> (F(1,28)=3.89, p=0.50) in <b>IG</b> .	Supervisor: specialized trainer. No p values. No counterbalanced the intervention with the two groups.

	24.78±2.08 years) Italian 2 <sup>nd</sup> division	mobility and flexity and 15 min of stability and posture, and strength with the use of elastic bands, medicine balls and foam rollers.						
Whalan et al. (2019)	806 male soccer players (IG1=398, age: 24,8; IG=408, age: 23.8 years) Sub-elite	<b>IG1:</b> Rescheduled FIFA 11+ <b>Duration:</b> 1 season (28-34 weeks) <b>Frequency:</b> 2/week (+ Parts 1 and 3 before matches) <b>Session duration:</b> ≈ 20-25 min <b>Training components:</b> 2 parts of the Fifa 11+ performed at the estart of the warm-up (parts 1 and 3), and one part performed at the end of training during the cool down period (part 2). In Part 2, players remained at level 1 for a minimum of 2 weeks, and progressed to level 3 after a minimum of 6 weeks	<b>IG2:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 1 season (28-34 weeks) <b>Frequency:</b> 2/week (+ Parts 1 and 3 before matches) <b>Session duration:</b> ≈ 20-25 min <b>Training components:</b> 3 parts of the Fifa 11+ performed at the start of the warm-up. In Part 2, players remained at level 1 for a minimum of 2 weeks, and progressed to level 3 after a minimum of 6 weeks.	Non-contact ACL injury incidence per 1000 hours of AE.	IG1=18.9 (doses), 32.7% (doses/sessions) IG2=29.1 (doses), 57.7% (doses/sessions)	NA	↔ <b>Non-contact ACL injury incidence</b> (p=0.238) in <b>IG2</b> (IR/1000h=0.06[0.01-0.2]) compared to <b>IG1</b> (IR/1000h=0.15[0.01-0.4])	Supervisor not specified. Weeks of season not specified.

SWC smallest worthwhile change, IG intervention group, CG control group, NR non-reported, ES effect size, ESc effect size calculated through Hedges' g, NA non-applicable.

Regarding the 8 NRCT (Table 3), two studies implemented a WU-based intervention [54,59], 3 a RT-based intervention [67,72,79], one a balance-based intervention [75], 1 a technique modification (TM)-based intervention [66] and one a MT-based intervention [55]. The outcome of interest was ACL injury incidence in 2 studies [54,55], while ACL risk factors investigated were total, dynamic balance [75], H/Q ratio and bilateral strength differences [67,72,79], and biomechanics of dynamic tasks [59,66]. Only two studies reported reliability measures of their outcome data [59,66]; two the SWC [59,66]; five stated who was the supervisor of the programme [54,55,59,66,79]; and one the compliance rate [66].

**Table 3. Characteristics of the non-randomized studies included in the systematic review.**

Reference	Participants Level	Intervention	Comparison	Outcomes	Compliance rate	Reliability /SWC	Results	Comments
Malliou et al. (2004)	100 young soccer players (IG=50, age: 16.7±0.5; CG=50, age: 16.9±0.7 years) First Greek division	<b>IG:</b> Proprioception training program Duration: 12 weeks (competition period) <b>Frequency:</b> 2/week <b>Session duration:</b> ≈20 min <b>Training components:</b> balance exercises (in order to maintain balance while they were performing soccer agilities, such us headers) performed on Biodex Stability System device, mini trampoline and balance boards.	CG: same training than IG but without any special-extra balance training	Total stability, anterior-posterior and medial-lateral index in a balance test	NR	NR	↓ <b>Total index</b> (ES <sub>c</sub> =1.13, p<0.001), <b>A-P Index</b> (ES <sub>c</sub> =1.20, p<0.001), and <b>M-L Index</b> (ES <sub>c</sub> =0.69, p<0.05) in <b>IG</b>	Supervisor not specified.
Gioftsidou et al. (2008)	68 male soccer players (age: 24.1±5.7 years) Professional	<b>IG:</b> Isokinetic training program <b>Duration:</b> 8 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈60 min <b>Training components:</b> 10 sets in a velocity spectrum exercise (5 sets with both flexor and extensor muscle groups + 5 sets with only the weak muscle group based on the initial measurement)	CG: NR	Concentric H/Q ratio at 60 and 180 %/s. Differences between limbs in peak torque for flexors and extensors.	NR	NR NR	↑ <b>H/Q ratio</b> at 60 %/s and 180 %/s at both legs (ES <sub>c</sub> =0.51-0.87) in IG. ↓ <b>Difference between limbs</b> in peak torque in knee extensors and knee flexors at 60 and 180 %/s (ES <sub>c</sub> =1.18-1.75)	Supervisor not specified. Lack of information regarding CG, and weak in the IG. Disparity between groups (IG=41, CG=27 players). P values and results in CG not specified.
Grooms et al. (2013)	41 male soccer players (CG=30, age: 20.3±1.6; IG=34, 20.0±2.4 years) NCAA Division III	<b>IG:</b> F-MARC 11+ <b>Duration:</b> ≈ 12 weeks <b>Frequency:</b> 5-6/week <b>Session duration:</b> ≈ 20 min <b>Training components:</b> (1) running exercises with dynamic stretching and controlled perturbations; (2) strength, balance, and jump-landing control with progression; and (3) higher-speed running drills with cutting maneuvers.	CG: standardized warm-up (1st season)	Relative risk (per 1000 athlete-exposures) of ACL injuries	NR	NA	↔ No ACL injury occurred during either season.	Supervisor: athletic trainer. Low sample to analyse risk ratio of ACL injuries. 7 dropouts in CG
Sliwowski et al. (2015)	24 junior male soccer players	<b>IG:</b> RT program specific to imbalance <b>Duration:</b> 6 weeks	CG: only performed the first part of	Conventional H/Q ratio for D and ND	NR	NR/ NR	↑ <b>H/Q ratio</b> in D leg (ES <sub>c</sub> =0.43, p<0.05) in IG.	Supervisor: qualified strength training instructor.



	(IG=14, age: 17.0±0.78; CG=10, age: 17.1±0.71 years) Polish U17 championship	<b>Frequency:</b> 2/week <b>Session duration:</b> ≈ 90 min <b>Training components:</b> two parts: (1) a set of 5 reps at 80% of 1RM of 12 upper and lower body exercises, 3-5 min of rest between sets, and (2) 2-3 additional series of 5-7 reps at 80% of 1RM. Depending on the imbalance, the additional exercises were performed for the muscle groups of a given extremity.	the RT program	(54.9% considered deficient) at 60 %/s. Bilateral ratio between knee extensors and flexors at 60 %/s.			↔ <b>No changes in the bilateral differences</b> in any group.	Disbalance between groups. Higher H/Q ratio in CG than in IG at baseline.
Ibis et al. (2018)	42 male soccer players (CG=14, age: 22±1.35; IG1=14, age: 23.21±2.29; IG2=14, age: 23±1.51 years) Amateur	<b>IG1:</b> Strength training group <b>Duration:</b> 8 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 60 min (estimated) <b>Training components:</b> 4 series of additional strength training at increasing load (80-95% of 1RM) of 7 lower extremity strength exercises in a pyramidal method. <b>IG2:</b> Individual-specific strength training group <b>Duration:</b> 8 weeks <b>Frequency:</b> 3 weeks <b>Session duration:</b> ≈ 75 min (estimated) <b>Training components:</b> same training than IG1 but with 4 additional series of 2 extra exercises depending on the participant deficiencies (those with H/Q rate low or bilateral flexor deficiency performed two extra knee flexor exercises, and those with bilateral extensor deficit performed two extra knee extensor exercises).	CG: regular training	Conventional H/Q ratio and bilateral differences (BLD) for hamstrings and quadriceps at 60, 180 and 300°/s	NR	NR/ NR	↓ <b>H/Q ratio</b> at <b>300</b> %/s in ND (ES <sub>c</sub> =0.58, p=0.026) in <b>CG</b> . ↑ <b>H/Q ratio</b> at <b>60</b> %/s in D (ES <sub>c</sub> =0.43) in <b>IG1</b> and in D and ND, <b>180</b> %/s in D and ND, <b>300</b> %/s in D and ND (ES <sub>c</sub> =0.58-1.68) in <b>IG2</b> .	Supervisor not specified. Low sample. 2 training/week CG vs 5 training/week IG1 and IG2, and also IG2>IG1 regarding workload.
Arundale et al. (2018)	68 women soccer players (IG=48,	<b>IG:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 1 competitive season <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 20 min	CG: standard warm-up	Peak hip flexion, adduction and internal	NR	ICC=0.63-0.92/ SDC and MID	1st season: ↔ <b>No differences between groups</b> in postseason peak knee	Supervisor: athletic trainer.

<p>CG=20 in one testing point; IG=22, CG=15 all time points). NCAA Division I and II</p>	<p><b>Training components:</b> (1) running exercises that encompass cutting, COD, decelerating and proper landing techniques; (2) strength, plyometric and balance exercises that focus on core strength, eccentric control and proprioception; (3) running exercises.</p>	<p>rotation angles and moments, and peak knee flexion and abduction angles and moments in a DVJ from 40 cm.</p>	<p>directly measured from the pre-season data.</p>	<p>abduction when controlling for baseline differences. No significant time x group interactions for valgus collapse value for either limb. Both groups increased peak knee abduction angle and peak hip abduction an external rotation on the ND (IG) and on the D (CG), but no time x group interaction.          ↓ <b>Clinically meaningful decrease (&gt;MID) in peak knee flexion angle in CG</b> for D leg (<math>F(1,35)=7.64</math>, <math>p=0.05</math>, <math>\eta^2=0.18</math>)          2nd season:          ↑ <b>ND hip abduction angle (&gt;SDC), ND hip external rotation angle (&gt;SDC), D knee abduction angle (&gt;MID) in 1st season vs 2nd season, and ND peak hip flexion angle (&gt;SDC) in 2nd season vs 1st season (time x season).</b>          ↓ <b>ND hip flexion angle (&gt;SDC) in 1st vs 2nd season (time x season).</b>          ↔ <b>No significant time x season interaction in valgus collapse in either legs.</b></p>
--	--	---	--	--

Dos'Santos et al. (2019)	26 male soccer players (IG=13, age: 16.9±0.2; CG=13, age: 17.8±0.3) Professional club (U17)	<b>IG:</b> COD speed and technique modification <b>Duration:</b> 6 weeks <b>Frequency:</b> 2/week <b>Session duration:</b> 20 min <b>Training components:</b> COD velocity and technique modification	CG: regular field-based warm-up	CMAS score in a 90° COD with both limbs	IG=88,5% CG=90%	ICC=0.774-0.934 SEM=0.49-0.69 CV=11.4-22.2/ SDD=1.36-1.84	↓ <b>CMAS in right</b> (p=0.025, g=-0.85, -22.5%), and <b>left</b> (p=0.018, g=-1.46, -33.9%) legs in <b>IG</b> . ↔ No change in CG.	Supervisor: certified S&C specialist. Some dropouts of participants in the IG (n=5).
Krutsch et al. (2020)	1527 male football players (IG=529, age: 22.7±4.3, CG=601, age: 21.9±4.1 years) Elite	<b>IG:</b> Newly implemented football-specific training modules <b>Duration:</b> one season <b>Frequency:</b> at least 2/week <b>Session duration:</b> ≈ 12 min <b>Training components:</b> one main exercise and several alternative with specific variations in movements and techniques (established by the researchers; decided by the coach) of 5 modules: mobilisation, core stability, leg axis stability, jumping, and landing exercises and agility.	CG: their usual training program	Severe knee and ACL/PCL injury incidence per 1000 AE	NR	NA	↓ <b>Severe knee injury incidence</b> (0.38 vs 0.69/1000h, p<0.05) in <b>IG</b> compared to CG. ↔ <b>ACL/PCL injury incidence</b> (0.11 vs 0.18/1000h, p>0.05) in <b>IG</b> compared to CG	Supervisor: coach. High number of dropouts, but do not specify how many of each group. Weeks of intervention not specified.

SWC smallest worthwhile change, IG intervention group, CG control group, NR non-reported, ES effect size, ESc effect size calculated through Hedges' g, NA non-applicable.

Finally, the 6 single-arm studies with no CG investigated the effect of RT-based [71,74], MT-based [70,76] and WU-based interventions [61,77] on H/Q ratio [61,71,74], different measures of balance ability [77], or biomechanics of dynamic tasks [70,76] of ACL injury, with no study examining its effect on ACL injury incidence (Table 4). None of the single-arm studies reported directly measured reliability data or the SWC. Two studies reported compliance rate [61,70], and two reported the supervisor of the programme [70,76]. In Figure 2, a depiction of the different exercise-based interventions used to target both ACL injury risk mitigation and ACL injury reduction, for each study design, is presented.

**Table 4. Characteristics of the single-arm studies included in the systematic review.**

Reference	Participants Level	Intervention	Outcomes	Compliance rate	Reliability /SWC	Results	Comments
Holcomb et al. (2007)	12 female soccer players (age: 20±0.8 years) NCAA 1 <sup>st</sup> division	<b>IG:</b> Hamstring-emphasized RT <b>Duration:</b> 6 weeks <b>Frequency:</b> 2/week <b>Session duration:</b> unable to determine <b>Training components:</b> two of different exercises (single leg curls, straight leg dead lifts, good morning exercises, trunk hyperextensions, resisted sled walking and exercise ball leg curls) in addition to speed, agility and endurance training.	Functional and conventional H/Q ratio at 240, 180 and 60 °/s	NR	NR NR	↑ <b>Functional H/Q</b> (ES <sub>c</sub> =1.13, p=0.049). ↔ <b>Conventional H/Q</b> (ES <sub>c</sub> =1.26, p=0.172)	Supervisor not specified. Low sample. Results not stratified by velocities. Poor description of the intervention.
Brito et al. (2010)	20 male soccer players (age: 22.3±4.2 years) Sub-elite	<b>IG:</b> FIFA 11+ <b>Duration:</b> 10 weeks <b>Frequency:</b> 3/week <b>Session duration:</b> 20 min <b>Training components:</b> 1) Running, stretching and controlled contacts; 2) strengthening, plyometrics and balance; and 3) speed running and soccer-specific movements.	H/Qcon 60° and 180°, H/Qecc30° and Hecc30 %/Qcon180°(DCR) ratios in isokinetic tests in both limbs	73%	Acknowledges another reliability data/ NR	↑ <b>H/Qcon60°</b> (ES <sub>c</sub> =0.11) and <b>Hecc30°/Qcon180°</b> (ES <sub>c</sub> =0.39) in non-dominant limb (p<0.05).	Supervisor not specified. 2 dropouts.
McCann et al. (2011)	10 healthy female soccer players (age: 19.1±0.9 years)	<b>IG:</b> Resistance and conditioning training <b>Duration:</b> 10 weeks (11 weeks for retention) <b>Frequency:</b> 4/week <b>Session duration:</b> ≈ 60 min <b>Training components:</b> strength, endurance or RT twice a week (depending on the athletes' weaknesses) and conditioning training (speed, quickness, plyometric and agility drills) twice a week.	Knee abduction and hip abduction angles, and knee flexion moment in a running stop jump.	NR	NR/ NR	↑ <b>Hip abduction angle</b> and <b>knee flexion moment</b> from pre- to post-intervention. ↓ <b>Knee abduction angle</b> from pre- to post-intervention and retention (Z=-2.29), and <b>hip abduction angle</b> and <b>knee flexion moment</b> from post-intervention to retention.	Supervisor: CSCS specialist. No descriptive data. Low cohort (n=10). No information about training during retention.
Greska et al. (2012)	12 female soccer players (age: 19.2±0.8 years)	<b>IG1:</b> Strength focused RT <b>Duration:</b> 10 weeks <b>Frequency:</b> 4/week <b>Session duration:</b> ≈ 60 min	Kinetic and kinematic variables during a stop-jump task	95%	NR/ NR	↓ <b>Knee abduction angle</b> at IC (d= 0.76, p=0.007) ↑ <b>Hip abduction angle</b> at IC (d=0.63, p=0.007)	Supervisor: CSCS specialist. All participants measured together (not by group). Low sample.

	NCAA 1 <sup>st</sup> division	<p><b>Training components:</b> 2 days of low volume of RT exercises with a self-selected rest interval and with augmented feedback (verbal and visual) in relation to the movement patterns and body positioning. 2 days of field conditioning focusing on speed, quickness, plyometric and agility drills.</p> <p><b>IG2:</b> Endurance focused RT</p> <p><b>Duration:</b> 10 weeks</p> <p><b>Frequency:</b> 4/week</p> <p><b>Session duration:</b> ≈ 60 min</p> <p><b>Training components:</b> 2 days of high volume of RT exercises with a 30-second rest interval between each exercise and with augmented feedback (verbal and visual) in relation to the movement patterns and body positioning. 2 days of field conditioning focusing on speed, quickness, plyometric and agility drills.</p> <p><b>IG3:</b> Maintenance focused RT</p> <p><b>Duration:</b> 10 weeks</p> <p><b>Frequency:</b> 4/week</p> <p><b>Session duration:</b> ≈ 60 min</p> <p><b>Training components:</b> 2 days of hybrid scheme between IG1 and IG2, performing strength-focused 1 day and endurance-focused the other day. 2 days of field conditioning focusing on speed, quickness, plyometric and agility drills.</p>				<p>and peak knee flexion (d=0.99, p=0.002) and <b>maximum knee extension moment</b> (ES<sub>c</sub>=0.59, p=0.022) at peak stance.</p>	<p>Inadequate and unbalanced group sizes. Differences in BW at baseline. Too much time required.</p>
Lehnert et al. (2017)	18 male soccer players (age: 17.1±0.4 years) Czech 1 <sup>st</sup> division	<p><b>IG:</b> Pre-season training with the inclusion of progressive eccentric hamstring exercises</p> <p><b>Duration:</b> 10 weeks</p> <p><b>Frequency:</b> from 1/week (from 1st to 4th) to 3/week (from 5th to 10th)</p> <p><b>Session duration:</b> ≈5-15 min</p> <p><b>Training components:</b> strength training with a special focus on eccentric hamstring exercises such as the Nordic curl (from 1 set of 5 reps at the beginning of the program, to 3 sets of 8-12 repetitions by the 5th week)</p>	Conventional and functional H/Q ratio at 60 %/s.	NR	NR/NR	<p>↑ <b>Functional H/Q</b> in ND (ES<sub>c</sub>=0.62, p&lt;0.05).</p> <p>↔ <b>Conventional H/Q</b> in D and ND (p&gt;0.05)</p>	Supervisor: not specified.

Oshima et al. (2018)	8 male soccer players (age: 20.4±0.5 years) Collegiate	<b>IG:</b> FIFA 11+ (part 2) <b>Duration:</b> 24 weeks (6 months) <b>Frequency:</b> ≥ 3/week <b>Session duration:</b> ≈ 10 min <b>Training components:</b> three levels of difficulty of six exercises aiming to increase muscular strength (core and lower limbs), balance, muscle control (plyometrics), and core stability.	Postural sway for 60s: length per time (LG) and environmental area (AR) (two-leg stance with eyes opened and then with eyes closed and single leg standing with eyes opened). Star excursion balance test (SEBT - 8 directions). H/Q ratio	NR	NR/ NR	↑ <b>Anterior-lateral</b> with D and <b>medial, posterior-medial,</b> and <b>posterior</b> with ND (ES <sub>c</sub> =0.38-0.71) in <b>SEBT</b> . ↔ <b>H/Q ratio</b> in D (ES <sub>c</sub> =0.20, p>0.05) and ND (ES <sub>c</sub> = 0.44, p>0.05)	Supervisor: not specified. No p values reported. Low sample (n=8)
----------------------	---	--	--	----	-----------	---	---

*SWC* smallest worthwhile change, *IG* intervention group, *CG* control group, *NR* non-reported, *ES* effect size, *ES<sub>c</sub>* effect size calculated through Hedges' g, *NA* non-applicable, *RT* resistance training.

### **Risk of Bias in Individual Studies**

A summary of the risk of bias in both parallel and cluster RCT at the different domains level of the RoB 2 tool are displayed in Supplementary Table S1 and Figure S1. Only one study was reported to be at low overall risk of bias [73], while 4 present some concerns [62,65,78,80], and 10 are at high risk of bias [53,56,57,58,60,63,64,68,69,81]. Regarding the 8 NRCT, 6 of them were classified as critical risk of bias [54,55,59,67,72,79], while two were classified at moderate risk of bias [66,75] (Supplementary Table S2 and Figure S2). Single-arm studies will be only discussed as potentially feasible implementations whose effectiveness should be further investigated. Therefore, no risk of bias analysis was conducted. A detailed explanation of this section is included in the Electronic Supplementary Material.

### **Results of Individual Studies**

Among the 29 included studies in the review, 6 studies evaluated the effect of exercise-based programs on ACL injury incidence. Four studies were RCT, in which three warm-up-based interventions (i.e., PEP Program [53], and FIFA 11+ [56,57]) found a protective effect on ACL injury incidence, while one in which part 2 of FIFA 11+ was performed at the end of the training showed no differences against the traditional FIFA 11+ [58]. Two studies were NRCT, one including FIFA 11+ [54] and the other a MT-based interventions [55], both of which demonstrated no protective effects on ACL injury incidence.

23 studies evaluated the effectiveness of exercise-based programs on different risk factors of ACL injury. 13 studies were RCT. Six studies used warm-up-based interventions (i.e., FIFA 11+), four of them showing positive results in improving different metrics of static and dynamic balance [60,63,73], GRF asymmetries in countermovement jumps and conventional H/Q ratios at 1.05 and 3.14 rad/s [65], and five showing no effect on balance [60,73], ankle and hip ROM, asymmetries in hop tests [60], frontal plane angles during a DVJ [80], conventional H/Q ratios at 60 and 240 deg/s [80] and Functional Movement Score (FMS) [78]. Two balance-based interventions showed positive results on different metrics of balance [68,69]. Two RT-based interventions found positive [64], and no [62] improvements in different metrics of H/Q ratios. One MT-based intervention [81] was effective at improving some metrics of the FMS. 6 additional studies were NRCT. One warm-up intervention did not improve drop-jump biomechanics [59]. Three RT-based interventions were effective in improving H/Q ratio [67,72,79], while one was effective at reducing bilateral between-limb differences in isokinetic knee extensors and flexors strength [67], and other was not [79]. One balance-based intervention was effective at improving balance metrics [75]. One TM-based intervention was effective in improving COD movement quality and performance [66].

6 studies were single-arm studies. Two used warm-up-based interventions that were effective at improving H/Q ratios [61] and balance [77]. Two used RT-based interventions, effective at improving functional, but not conventional H/Q ratio [71,74]. Two used MB-based interventions, effective at improving stop-jump task biomechanics [70,76].



When analyzing the findings of individual studies according to their risk of bias (Supplementary Tables S1 and S2), the only study at low risk of bias found that FIFA 11+ was effective at improving time-to-stabilization during a single-leg landing task (-1.8%), but not at improving core stability or SEBT [73]. Two studies at moderate risk of bias also found no effect of FIFA [80] and FIFA 11+ [78] on H/Q ratio and knee valgus angle during a countermovement jump, and in FMS, respectively. Contrasting to these findings, other high-risk studies investigating the FIFA 11+ found positive effects of the programme on both ACL injury incidence [54,57] and several risk factors of injury [59,60,63] (Table 3 and Table 4). Other studies at moderate risk of bias found positive effects of RT-based interventions on functional H/Q ratio during fatigued conditions [64] but not in conventional, unfatigued H/Q ratio [62]. Dello Iacono et al. [65] found a positive influence of a core stability training on conventional H/Q ratio and in GRF asymmetries during one-leg countermovement jumps (CMJ). Finally, the study carried out by Dos'Santos et al. [66] showed promising results, as their TM-based programme was effective at improving performance and movement quality during COD. The rest of studies were considered to be at high or critical risk of bias. Therefore, their findings must be considered with caution.

## DISCUSSION

To our best knowledge, this is the first systematic review which investigates the effects of exercise-based interventions on ACL injury incidence and risk factors in football players from that of Alentorn-Geli et al. [23] published 12 years ago. The summary of findings and their implications will be summarised in the following sections: (Section 4.1) Effects of exercise-based interventions on ACL injury incidence; (Section 4.2) Effects of exercise-based interventions on risk factors of ACL injury; and (Section 4.3) Potentially feasible interventions from single-arm studies. Following this, a discussion of the importance of different risk factors and practical applications will be provided.

### **Effects of Exercise-Based Interventions in ACL Injury Incidence**

#### *Evidence from Randomised-Controlled Trials*

Four cluster-RCTs investigated the effects of warm-up-based interventions on ACL injury incidence showing varied results (Table 1), all of which were classified as high risk of bias (Supplementary Table S1 and Figure S1). Gilchrist et al. [53] and Silvers-Granelli et al. [56,57] found that PEP Program and FIFA 11+, respectively, could effectively reduce the ACL injury incidence. In the case of FIFA 11+ there was a 46.1% reduction of injuries in the IG, with 70 number-needed-to-treat (i.e., 70 athletes needed to be treated to prevent 1 ACL injury). Even though a similar reduction (i.e., 43.8%) in injury rates was found in female athletes who participated in neuromuscular training (FIFA 11+ could be considered neuromuscular training) [82], number-needed-to-treat data should not be compared since it is time-dependent [83] and different designs have been used for its calculation (i.e., RCT of one competitive season vs. systematic review with different time windows studies) [56,84]. These findings are in line with a systematic review concluding

that FIFA 11+ is effective at reducing injuries in football players [84]. In spite of this, surprisingly only 10% of FIFA’s member governing bodies associations have implemented the programme with researchers highlighting a low compliance with the 11+ [85,86]. This low adoption and compliance could be explained, among others, by the time required to complete (~20–25 min), boredom associated with the programme [85], and the soreness and fatigue caused by exercises (i.e., Nordic curls) contained in Part 2 [85,86]. To prevent these issues and improve compliance, Whalan et al. [58] proposed a rescheduled FIFA 11+, in which parts 1 and 3 were performed during the warm-up, while part 2 was performed at the end of the training. However, no differences against traditional FIFA 11+ were observed. Given that effectiveness partly relies on the compliance and implementation of any prevention programme [87], it remains unknown if FIFA 11+ could effectively reduce ACL injury rate in the “real world”, particularly at the sub-elite and community level.

*Evidence from Non-Randomised Trials*

The two NRCT investigating the effect of exercise-based intervention on ACL injury rate [54,55], both classified as critical risk of bias, did not demonstrate any reduction in ACL injury rate (Table 2), even though one MT-based programme was effective at reducing severe knee injuries [55]. The fact that this reduction was achieved within a short duration MT-based protocol per session (i.e., 12 min approx.) warrants further investigation through higher quality NRCT or RCT. In Table 5, an overview of the findings is provided for the effects of the exercise-based interventions on ACL injury incidence (Section 4.1).

**Table 5.** Summary of evidence regarding the efficacy of exercise-based interventions on ACL injury incidence and risk factors of ACL injury coming from randomized-controlled trials and nonrandomized studies.

Injury Incidence	Risk Factors of ACL Injury
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FIFA 11+ [56,57] and PEP Program [53] appears to be effective at reducing ACL injury incidence.</li> <li>▪ FIFA 11+ still present some pitfalls that restricts its implementation in football teams due to duration, boredom and soreness issues [85,86].</li> <li>▪ The programme proposed by Krutsch et al. [55] appears to be an effective and feasible option to decrease severe knee injuries, but should be further investigated through a RCT specifically investigating ACL incidence.</li> <li>▪ The high sample size or time needed to permit a high ACL injury occurrence which satisfies statistical power is extremely difficult to achieve [53], and thus, complicating the development of rigorous intervention studies investigating their effect in ACL injury incidence.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FIFA 11+ may be effective by eliciting positive adaptations in terms of balance [60,65] or dynamic stabilization [73], but not in mobility, asymmetry in hop tests [60], fundamental movement patterns [78] or biomechanics of jump landing tasks [59] in adult football players.</li> <li>▪ The core stability programme proposed by Dello Iacono et al. [65] seems to be effective at either improving H/Q ratio and GRF asymmetry during CMJ.</li> <li>▪ The balance programme proposed by Gioftsidou et al. [68] may be effective at eliciting moderate to large improvements in balance.</li> <li>▪ The TM program proposed by Dos’Santos et al [66] appears to be effective at improving both performance and movement quality of cutting actions (main mechanism of ACL injuries [18]).</li> </ul>

- 
- All of the above interventions appear to provide the best effectiveness/feasibility balance to be implemented in the real soccer context, although they should be further explored through low risk of bias RCT designs.
- 

ACL anterior cruciate ligament, CMJ countermovement jump, GRF ground reaction force, H/Q hamstrings to quadriceps, RCT randomized controlled trial, TM technique modification.

## **Effects of Exercise-Based Intervention in Risk Factors of ACL Injury**

### *Evidence from Randomized-Controlled Trials*

6 out of 11 studies investigating the effects of interventions on risk factors of ACL injury were warm-up-based interventions (Table 1). The most frequently warm-up administered was the FIFA 11+. Some studies reported that the FIFA 11+ was effective at improving different surrogates of ACL injury risk [60,63], while others found no differences compared to a CG [63,73,78,80]. Notably, the only RCT in the present systematic review assessed at low risk of bias found no meaningful differences between the FIFA 11+ and CG in SEBT following a 9-week intervention, although an improvement, albeit small, in time-to-stabilisation in IG (-1.8%) was observed [73]. However, the practical implication of such small change into overall ACL risk of injury remains unknown. Although the FIFA 11+ has been shown to decrease ACL injury rate, the controversy of the findings (some studies reporting positive while others no effects for a given component) makes difficult to elucidate the mechanisms by which the programme may be effective at decreasing the incidence [87]. The effectiveness of a warm-up-based stability training in both H/Q ratio and asymmetry in GRF during CMJ [65] requires further research to corroborate these findings. Additionally, of note, changes in H/Q ratio should be considered with caution, as they can be obtained through different changes in the hamstrings and quadriceps musculature (i.e., numerator and dominatory; for example, a reduction in quadriceps strength could improve the ratio, but probably not the risk of injury), thus the constituent components of any ratio should always be examined.

Two studies included a balance-based intervention in order to improve balance and stability [68,69], both showing a positive effect. Balance training has been proposed to be an effective component in both reduction of ACL injury rate and mitigating the predisposing factors [27,88]. Recently, balance training has been considered an effective strategy to mitigate risk factors of ACL injury during COD [89], potentially attributable to positive changes in hamstring, hip and trunk muscle activation, which supports and reduces knee joint loads [33]. However, the high frequency of training needed (i.e., 6 times a week) [68] and the small magnitudes of the effects [69] question the effectiveness and feasibility of these interventions. Additionally, the absence of clear differences between unstable and stable surfaces [69] in balance are in line with previous works [90], although the potential reductions in strength and power application as a consequence of training on unstable surfaces should be considered when they are implemented [91].

A 7-week RT-based intervention showed promising results improving functional H/Q ratio in both fatigued and unfatigued states [64]. RT has been commonly proposed to be a critical component of successful injury prevention programmes in football and is central for facilitating positive tissue adaptations and robustness [92]. Among its potentially beneficial effects include improved coordination, enhanced technique in different activities, reduction of potentially hazardous joint loads, and improvement of the psychological perception of high-risk situations seem to be possible mechanism for reducing the risk of suffering acute injuries, such as ACL tear [93]. However, the requirements of gym-based equipment and the high weekly volume (i.e., >20 min performed 3/week) [64] makes difficult its inclusion into most football training contexts.

Of note, it must be highlighted that only three out of nine studies directly measured the reliability of their data [65,68,78], while one acknowledges other reliability data [60,64] and four studies did not report any reliability data at all [63,69,73,80]. Furthermore, only one study [73] established the SWC. Taken collectively, the findings of the studies must be interpreted with caution, because it is uncertain whether the training-induced changes exceeded the measurement error, and therefore casts doubt whether they were “true” or “real” findings.

### **Evidence from Non-Randomized Trials**

The most common intervention investigated in a NRCT design were RT-based interventions, showing effectiveness at improving H/Q ratio and bilateral differences in peak torque flexor/extensor ratios [67,72,79], in line with the previously mentioned advantages that RT possesses in relation to decreasing the risk of injury [92,93]. However, the serious methodological issues present in their designs resulted in critical risk of bias classification.

A balance-based intervention, similarly to which was found in RCT, found positive effects of a football-specific balance programme on static balance assessments [75], which aligns with the literature evidence suggesting that balance training as a component [87], and specificity as a feature of prevention programmes [94] may positively influence in the risk of injury.

Two studies evaluated the effectiveness of their interventions on lower-body biomechanics of dynamic tasks that try simulate the mechanisms of ACL injury (i.e., landing/COD) [59,66], showing no meaningful effect of FIFA 11+ on peak knee flexion angle during a drop vertical jump [59] and an improvement of a TM-based intervention on COD performance and quality of movement [66]. The findings of the latter intervention are appealing because of several factors: (i) it is one of the only two NRCT studies at moderate risk of bias; (ii) it only requires two 20-min sessions a week which can easily implemented on the field; (iii) both performance and injury risk are improved which is likely to improve athlete and coach adherence and compliance; and (iv) the results were practically meaningful (compared against SWC and SDD). In the absence of robust risk factors of ACL injury [22], it seems to be worthwhile developing training modalities that aim at reducing potentially high-risk postures associated with ACL injury

mechanisms [95], where COD has been widely shown to be the main injury mechanism [18,20,29], and which are effective both from a performance and injury perspectives, as they will be more easily adopted by coaches and practitioners [31].

Similar to the aforementioned RCTs, it must be highlighted that only 2 out of 6 studies reported reliability and SWC data [59,66], while the other 4 failed to did not report any information related to reliability measures [67,72,75,79]. Therefore, again, it is difficult to determine the practical relevance of the results reported. In Table 5, an overview of the findings for the effects of the exercise-based interventions on risk factors of ACL injury is provided.

### **Potentially Feasible Interventions from Single-Arm Studies**

Single-arm study characteristics are displayed in Table 3, although due to the previously mentioned limitations as a consequence of not containing a CG, interventions which could be easily implemented in any context (i.e., no sophisticated equipment and so much time required) will only be discussed. Some of the single-arm studies proposed interventions required machine and free-weights [70,71,76] which is equipment not easily available in any training facilities, or they correspond more to full training programmes (i.e., 60-min RT sessions twice a week, plus 60-min field conditioning session twice a week) than preventative interventions [70,76]. Regarding only those potentially feasible in the field, two preventative programs effective at improving muscle activity (i.e., part 2 of FIFA 11+ [77]) or H/Q ratio (i.e., RT-based [74]) may merit further research through multiple-arm, RCT. However, until then, their possible influence on ACL injury risk remains, at best, speculative.

### **Do All Risk Factors Established Elsewhere in The Literature Equally Contribute to ACL Injury?**

Many risk factors have been proposed to be related to ACL injury throughout the years [27,30,96,97,98,99,100,101]. Among them, it is modifiable risk factors which have risen in interest given that they can be targeted by preventative programmes [102]. Neuromuscular (e.g., antagonist-agonist relationships, muscle activation, decreased co-contraction, decreased proprioception) and biomechanical (i.e., ankle, knee, hip and trunk movements in three planes of motion) deficits have been frequently proposed as main modifiable risk injuries of ACL injury [23,96,99], also specifically in football players [23]. Although some of these factors have been proposed to be related ACL injury [103,104], others have presented opposing results (e.g., no relationship between FMS and injury) [105].

With the final purpose of reducing the likelihood of suffering an ACL injury, screening tests should be validated, in a three-step process [22]: (i) a strong relationship between a marker from a screening test and injury risk must be found in prospective studies, (ii) the test properties of the marker must be validated in relevant populations, with appropriate statistic techniques, and (iii) an intervention programme targeted to athletes at high risk must be more beneficial than the same program targeted to all the athletes. Nevertheless,

even these prospective studies also have limitations, such as the fact of relating the determined marker with an injury that occurs weeks or months later [106].

In football players, ACL injury mechanisms have been widely established [18,28,29,107]. In the two most recent visual observational analysis studies of ACL injury mechanisms in professional players (male and female) [18,28], it was concluded that performing a COD while pressing or tackling was the main common situation, where ipsilateral trunk tilt and contralateral rotation, abducted hip, dynamic knee valgus and flat and externally rotated foot were the most frequently observed mechanisms [18,28]. Other studies have also found COD and landings to be the main non-contact ACL injury mechanisms in football [29,96] and American football [107]. Therefore, in the absence of strong evidenced risk factors to be targeted, evaluating movement quality and identifying biomechanical and neuromuscular deficits during potentially high-risk maneuvers (i.e., landings and CODs) can provide important information regarding an athlete's "injury risk profile" [108,109].

Three-dimensional motion analysis is the gold standard for evaluating biomechanical variables; however, they require high-cost equipment and are time-consuming to be applicable in football [44]. To overcome these limitations, several cost-effective qualitative field-based screening tools have been developed, such as the landing error scoring system (LESS) [110], tuck jump assessment (TJA) [111], qualitative analysis of single leg loading (QASLS) [112], CMAS [109] or the 2D video analysis scoring system of 90° CODs [113] to evaluate risk of ACL injury. Since these assessments have been developed to identify biomechanical and neuromuscular control deficits similar to the direct mechanisms of ACL injury (i.e., landings, cuttings), and they can be simply evaluated in the field context, future research is necessary that investigates the effect of exercise-based training interventions on biomechanical and neuromuscular control deficits (movement quality) during landing and cutting field-based screening tests in footballers [22]. Furthermore, even though a better movement quality in common mechanisms of ACL injury could mitigate the risk of injury, few published prevention programs appear to expose athletes to the task-specific elements of the injury mechanisms [95], a field that warrants further research.

### **Practical Applications**

Based on the findings of the systematic review, warm-up-based interventions such as FIFA 11+ or PEP Program seem to be effective at reducing ACL injury rates [53,56,57]. These aforementioned field-based methods can be easily performed at the community to elite level in football because they do not require sophisticated equipment, and generally take only 20 min. However, the mechanisms by which these interventions are effective remains unanswered from the findings of the present work, although from studies with preadolescent female football players, it can be speculated that it is effective at reducing knee valgus angles and moments during landings, probably due to the large volume dedicated to jump-landing technique [114,115]. Nevertheless, it appears to be a poor modality at inducing favorable changes in cutting technique, most likely to the low volume of cutting drills in the programme [114,115]. In the case of FIFA 11+, though, it

presents some pitfalls which potentially limits its implementation in football teams despite its effectiveness in reducing injury rates. Additionally, it could be more appropriate and specific in relatively inexperienced players, particular at the community level, as this could be a sufficient training stimulus to elicit improvements in balance, strength, or NM control. Some core stability [65], balance [68], and TM interventions [66] have shown promising results, since they can potentially provide protective benefits in a feasible way (i.e., basic equipment, and no more than 20-min sessions, 5/week interventions). Conversely, some of the included RT-based interventions have been shown to be effective at targeting neuromuscular factors, although the interventions used makes difficult their translation to the real context.

In order to reduce ACL injury rates, it is necessary that the proposed interventions are both effective and feasible (i.e., providing protective effects and easily implementable in the real context), and not only show efficacy in ideal conditions [116]. This can be achieved by developing shorter and more flexible prevention programmes that facilitates its inclusion in football teams [89]. There is a scarcity of RCT and NRCT investigating the effect of exercise-based interventions on movement quality tasks simulating the main mechanisms of ACL injury (i.e., landing and COD), an area which warrants further research. Additionally, none of the interventions have been individually designed to target the identified specific high-risk factors of the football player (e.g., knee valgus, poor trunk control). Although general interventions would be more easily implementable, the more feasible individualization in elite teams also warrants further research. Finally, despite the effectiveness of mixed multicomponent program as a way to reduce ACL injuries [117], none of the included interventions included the main components in the way in which have been previously recommended [27,118]. The use of these multicomponent programs, which could potentially improve also other physical qualities, would improve the external validity of these interventions.

### **Limitations**

Our systematic review is not free of limitations. Firstly, studies including team sports athletes other than football players were excluded from the analysis. However, it could be argued that some interventions could be useful for different team sports. Given the uniquely characteristics of the different sports, including football, the aim of the present systematic review was to gather only those specifically carried out in football players. Secondly, a meta-analysis was not conducted, although a high number of studies were included. The two main reasons were: (i) there were three types of different study designs which should not be mixed; and (ii) within each type of study designs, interventions, comparators and outcomes of interests were too heterogeneous to conduct a proper meta-analysis. Additionally, given the low number of ACL injuries per team per season, most of the study interventions aiming at reducing ACL injury incidence found difficulties to reach significance, hence masking their potentially protective effects. Although expanding the literature search to overall knee injuries would solve this problem, the variability of injuries, with their associated specific risk factors, would make it hard to provide specific recommendations. Finally, when analysing ratios as potential outcomes

for injury risk mitigation (i.e., H/Q ratio), it should be considered that they may not change because of both components increasing (i.e., strengthening of knee flexors/extensors) or decreasing (i.e., weakening), which would drastically determine the interpretation of the change. However, these sub-components analyses are not always performed in research investigations.

## CONCLUSIONS

Our findings revealed that some exercise-based strategies could be potentially effective at both reducing ACL injury rate and mitigating risk factors of ACL injury in adult footballers. Warm-up-based interventions such as FIFA 11+ or PEP Program appear effective and feasible in the context of football teams across community to elite levels, although the mechanisms by which they are effective are not well understood. Core stability, balance and TM-based interventions appear to be better options to include as preventative programmes, as they are feasible and meaningfully decreased risk factors of ACL injury. Other included RT-based interventions have shown protective effects in neuromuscular deficits related to ACL injury (i.e., H/Q ratio), although their time and equipment required makes difficult to potentially be implemented in football teams. Consequently, for future work, improvements in risk of bias frequently observed in RCT and NRCT is required, as well as further research into the effect of potentially effective and feasible interventions in movement quality in relation to sport-specific task similar to the main mechanisms of ACL injury, such as landing and cutting tasks. More research analyzing the effect of interventions targeting individual risk factors of ACL injury are also needed. Finally, considerations for future research are discussed in Table 6.

**Table 6.** Summary of considerations and recommendations for future research.

Recommendation	Rationale
<b>Developing preventative frameworks focusing on movement quality in risky movements</b>	Of the 29 studies included, only four evaluated the effect of any exercise-based intervention on movement quality during potentially risky movements associated with the common ACL injury mechanism in football [59,66,70,76], while only one study has been carried out with a cost-effective tool which could be easily implemented in the football context [66]. Even though the effect of several interventions on movement quality has been performed with different team sports including football players [37], the specific nature of some exercise-based adaptations and the uniquely context in which football occur [119] could justify the need of developing more football-specific preventative programs. Furthermore, only one NRCT study incorporated TM as a strategy to mitigate risk factors of ACL injury [66] despite it is widely known the contribution of biomechanical determinants in increasing ACL loads [120], and knowing its promising results in other sports [121] and in young female players [122]. On the other hand, given the influence that neurocognition may have in ACL injuries [123], open skills tasks that evaluate athletes under football-specific neurocognitive demands (e.g., unanticipated COD) should be included in screening tests assessing effectiveness of intervention programs [123].



---

**Improving quality of the interventions**

None of the included studies had pre-registered the study protocol before to its execution, by which it may be speculated that this is not common trend in Sports Sciences. Since this pre-registration would allow to compare evaluation and data analysis finally carried out with those initially intended, it would be easier to detect risk of bias, especially that related to bias in the selection of reported outcomes [49]. Although problems arise from the inability of blinding athletes and care providers are sometimes unavoidable in the context of interventions carried out in football teams, others such as bias due to confounding variables in NRCT or bias due to deviations from intended interventions and unequal training volumes in RCT can be prevented with appropriate analysis performed (i.e., pre-registration and overall transparency with the research process) [50]. Randomization and concealment of allocation sequence processes should be improved and explicitly reported. By doing this, the number of low risks of bias studies (only one in the present review) would be higher and, therefore, findings more reliable [49]. Additionally, by increasing samples and/or the follow-up times, greater statistical power would be reached in the associations, especially those with ACL injury incidence [21].

**Appropriate reporting of important features of the program: reliability of outcomes, SWC, compliance and supervisor**

It is also suggested that reliability and SWC data are directly measured so that practical relevance of the results obtained because of an exercise-based intervention could be determined [90], and to ensure that training induced changes exceed the measurement error to increase the certainty improvements are “real”. This is extremely pertinent when researchers do not have the opportunity to utilize a CG and therefore adopt a single-arm design. In the present review, only 5/24 and 3/24 of the studies evaluating risk of injury variables have reported directly measured reliability and SWC data, respectively. Of note, it is suggested that supervisor of the interventions is specified, as it is known the potential positive influence of the quality of the feedback provided (i.e., through verbal, auditory and visual cues) [124,125,126] in the reinforcement of proper technique during anterior cruciate ligament injury prevention exercises [127]. 17/29 included studies reported who were the intervention supervisors. Additionally, despite the positive relationship that has been shown between compliance and effectiveness of exercise-based interventions targeting injury reduction [57,58], only 8/29 studies reported compliance rates. Indeed, compliance to the intervention has been shown to be a critical component of prevention programmes, as it highly determines its effectiveness [87]. Therefore, going forward, before concluding a training modality as potentially ineffective, it is central to consider the training compliance which, unfortunately, 72% of studies in this review failed to report. Thus, it is suggested to incorporating such data in future research to confirm the efficacy of injury mitigation training interventions.

---

ACL anterior cruciate ligament, CG control group, NRCT nonrandomized studies, RCT randomized controlled trial, SWC smallest worthwhile change.

**Author Contributions**

J.O.-J., V.M.S.-H., A.F.-R., T.D., F.D.V. and B.R. contributed to the conception and design of the work, the search and inclusion criteria and interpretation of the results. J.O.-J., A.F.-R. and T.D. contributed to the implementation of the search strategy and data extraction. J.A., J.M.-S. and J.O.-J. carried out the risk of bias assessments. J.O.-J. drafted

the manuscript. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### **Funding**

This research received no external funding.

### **Conflicts of Interest**

The authors declare no conflict of interest.

## **REFERENCES**

1. Fédération Internationale de Football Association (FIFA). FIFA Big Count 2006: 270 Million People Active in Football. FIFA Commun. Div. Inf. Serv. 2007, 31, 1–12.
2. Ekstrand, J.; Spreco, A.; Bengtsson, H.; Bahr, R. Injury rates decreased in men's professional football: An 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *Br. J. Sports Med.* 2021, 55, 1084–1091.
3. Drew, M.K.; Raysmith, B.P.; Charlton, P.C. Injuries impair the chance of successful performance by sportspeople: A systematic review. *Br. J. Sports Med.* 2017, 51, 1209–1214.
4. Eirale, C.; Tol, J.L.; Farooq, A.; Smiley, F.; Chalabi, H. Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *Br. J. Sports Med.* 2013, 47, 807–808.
5. Häggglund, M.; Waldén, M.; Magnusson, H.; Kristenson, K.; Bengtsson, H.; Ekstrand, J. Injuries affect team performance negatively in professional football: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br. J. Sports Med.* 2013, 47, 738–742.
6. Eliakim, E.; Morgulev, E.; Lidor, R.; Meckel, Y. Estimation of injury costs: Financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2020, 6, e000675.
7. Øiestad, B.E.; Holm, I.; Aune, A.K.; Gunderson, R.; Myklebust, G.; Engebretsen, L.; Fosdahl, M.A.; Risberg, M.A. Knee Function and Prevalence of Knee Osteoarthritis after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective Study with 10 to 15 Years of Follow-Up. *Am. J. Sports Med.* 2010, 38, 2201–2210.
8. Svantesson, E.; Senorski, E.H.; Webster, K.E.; Karlsson, J.; Diermeier, T.; Rothrauff, B.B.; Meredith, S.J.; Rauer, T.; Irrgang, J.J.; Spindler, K.P.; et al. Clinical Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Injury: Panther Symposium ACL Injury Clinical Outcomes Consensus Group. *Orthop. J. Sports Med.* 2020, 8, 1–19.
9. Fältström, A.; Kvist, J.; Gauffin, H.; Häggglund, M. Female Soccer Players with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Have a Higher Risk of New Knee Injuries and Quit Soccer to a Higher Degree Than Knee-Healthy Controls. *Am. J. Sports Med.* 2018, 47, 31–40.
10. Kamath, G.V.; Murphy, T.; Creighton, R.A.; Viradia, N.; Taft, T.N.; Spang, J.T. Anterior Cruciate Ligament Injury, Return to Play, and Reinjury in the Elite Collegiate Athlete: Analysis of an NCAA Division I Cohort. *Am. J. Sports Med.* 2014, 42, 1638–1643.
11. Sandon, A.; Engström, B.; Forssblad, M. High Risk of Further Anterior Cruciate Ligament Injury in a 10-Year Follow-up Study of Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Soccer Players in the Swedish National Knee Ligament Registry. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.* 2020, 36, 189–195.

12. Slater, L.V.; Wasserman, E.B.; Hart, J.M. Trends in Recurrent Anterior Cruciate Ligament Injuries Differ From New Anterior Cruciate Ligament Injuries in College and High School Sports: 2009-2010 through 2016–2017. *Orthop. J. Sports Med.* 2019, 7, 1–8.
13. Webster, K.E. Return to Sport and Reinjury Rates in Elite Female Athletes after Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Sports Med.* 2021, 51, 653–660.
14. Della Villa, F.; Häggglund, M.; Della Villa, S.; Ekstrand, J.; Waldén, M. High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: An updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. *Br. J. Sports Med.* 2021, 55, 1350–1356.
15. Tabben, M.; Eirale, C.; Singh, G.; Al-Kuwari, A.; Ekstrand, J.; Chalabi, H.; Bahr, R.; Chamari, K. Injury and illness epidemiology in professional Asian football: Lower general incidence and burden but higher ACL and hamstring injury burden compared with Europe. *Br. J. Sports Med.* 2021, 2020, 1–6.
16. Ekstrand, J.; Häggglund, M.; Kristenson, K.; Magnusson, H.; Waldén, M. Fewer ligament injuries but no preventive effect on muscle injuries and severe injuries: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br. J. Sports Med.* 2013, 47, 732–737.
17. Waldén, M.; Häggglund, M.; Magnusson, H.; Ekstrand, J. ACL injuries in men’s professional football: A 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br. J. Sports Med.* 2016, 50, 744–750.
18. Della Villa, F.; Buckthorpe, M.; Grassi, A.; Nabiuzzi, A.; Tosarelli, F.; Zaffagnini, S.; Della Villa, S. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): Injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br. J. Sports Med.* 2020, 54, 1423–1432.
19. Bisciotti, G.N.; Chamari, K.; Cena, E.; Bisciotti, A.; Bisciotti, A.; Corsini, A.; Volpi, P. Anterior cruciate ligament injury risk factors in football. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2019, 59, 1724–1738.
20. Grassi, A.; MacChiarola, L.; Filippini, M.; Lucidi, G.A.; Della Villa, F.; Zaffagnini, S. Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Injury in Italian First Division Soccer Players. *Sports Health* 2019, 12, 279–288.
21. Grimm, N.L.; Jacobs, J.C.; Kim, J.; Denney, B.S.; Shea, K.G. Anterior Cruciate Ligament and Knee Injury Prevention Programs for Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am. J. Sports Med.* 2015, 43, 2049–2056.
22. Bahr, R. Why screening tests to predict injury do not work—and probably never will...: A critical review. *Br. J. Sports Med.* 2016, 50, 776–780.
23. Alentorn-Geli, E.; Myer, G.D.; Silvers, H.J.; Samitier, G.; Romero, D.; Lázaro-Haro, C.; Cugat, R. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* 2009, 17, 705–729.
24. International Olympic Committee Injury and Illness Epidemiology Consensus Group; Bahr, R.; Clarsen, B.; Derman, W.; Dvorak, J.; Emery, C.A.; Finch, C.F.; Häggglund, M.; Junge, A.; Kemp, S.; et al. International Olympic Committee Consensus Statement: Methods for Recording and Reporting of Epidemiological Data on Injury and Illness in Sports 2020 (Including the STROBE Extension for Sports Injury and Illness Surveillance (STROBE-SIIS)). *Orthop. J. Sports Med.* 2020, 8, 1–33.
25. Karazsia, M.B.T.; Van Dulmen, M.H.M. Assessing Injuries with Proxies: Implications for Understanding Concurrent Relations and Behavioral Antecedents of Pediatric Injuries. *J. Pediatr. Psychol.* 2009, 35, 51–60.
26. Whittaker, J.; Booyesen, N.; De La Motte, S.; Dennett, L.; Lewis, C.L.; Wilson, D.; McKay, C.; Warner, M.; Padua, D.; Emery, C.A.; et al. Predicting sport and occupational lower extremity injury risk through movement quality screening: A systematic review. *Br. J. Sports Med.* 2017, 51, 580–585.

27. Hewett, T.E.; Myer, G.D.; Ford, K. Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part 1, Mechanisms and Risk Factors. *Am. J. Sports Med.* 2006, 34, 299–311.
28. Lucarno, S.; Zago, M.; Buckthorpe, M.; Grassi, A.; Tosarelli, F.; Smith, R.; Della Villa, F. Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Female Soccer Players. *Am. J. Sports Med.* 2021, 49, 1794–1802.
29. Waldén, M.; Krosshaug, T.; Bjørneboe, J.; Andersen, T.E.; Faul, O.; Hägglund, M. Three distinct mechanisms predominate in non-contact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. *Br. J. Sports Med.* 2015, 49, 1452–1460.
30. Dos’Santos, T.; Thomas, C.; Comfort, P.; Jones, P.A. The Effect of Angle and Velocity on Change of Direction Biomechanics: An Angle-Velocity Trade-Off. *Sports Med.* 2018, 48, 2235–2253.
31. Fox, A.S. Change-of-Direction Biomechanics: Is What’s Best for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Also Best for Performance? *Sports Med.* 2018, 48, 1799–1807.
32. Ruas, C.V.; Pinto, R.S.; Haff, G.G.; Lima, C.D.; Pinto, M.D.; Brown, L.E. Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: A Comprehensive Review. *Sports Med. Open* 2019, 5, 11.
33. Lloyd, D.G.; Buchanan, T. Strategies of muscular support of varus and valgus isometric loads at the human knee. *J. Biomech.* 2001, 34, 1257–1267.
34. Boutris, N.; Byrne, R.A.; Delgado, D.A.; Hewett, T.E.; McCulloch, P.C.; Lintner, D.M.; Harris, J.D. Is There an Association Between Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries and Decreased Hip Internal Rotation or Radiographic Femoroacetabular Impingement? A Systematic Review. *Arthrosc. J. Arthrosc. Relat. Surg.* 2018, 34, 943–950.
35. Howe, L.P.; Bampouras, T.M.; North, J.S.; Waldron, M. Improved Ankle Mobility After a 4-Week Training Program Affects Landing Mechanics. *J. Strength Cond. Res.* 2020, 1–9.
36. Monajati, A.; Larumbe-Zabala, E.; Goss-Sampson, M.; Naclerio, F. The Effectiveness of Injury Prevention Programs to Modify Risk Factors for Non-Contact Anterior Cruciate Ligament and Hamstring Injuries in Uninjured Team Sports Athletes: A Systematic Review. *PLoS ONE* 2016, 11, e0155272.
37. Lopes, T.J.A.; Simic, M.; Myer, G.D.; Ford, K.; Hewett, T.E.; Pappas, E. The Effects of Injury Prevention Programs on the Biomechanics of Landing Tasks: A Systematic Review with Meta-analysis. *Am. J. Sports Med.* 2018, 46, 1492–1499.
38. Noyes, F.R.; Westin, S.D.B. Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Training in Female Athletes: A Systematic Review of Injury Reduction and Results of Athletic Performance Tests. *Sports Health* 2012, 4, 36–46.
39. Stevenson, J.H.; Beattie, C.S.; Schwartz, J.B.; Busconi, B.D. Assessing the Effectiveness of Neuromuscular Training Programs in Reducing the Incidence of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: A Systematic Review. *Am. J. Sports Med.* 2014, 43, 482–490.
40. Stojanovic, M.D.; Ostojic, S.M. Preventing ACL Injuries in Team-Sport Athletes: A Systematic Review of Training Interventions. *Res. Sports Med.* 2012, 20, 223–238.
41. Taylor, J.; Waxman, J.P.; Richter, S.J.; Shultz, S.J. Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: A systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2015, 49, 79–87.
42. Fanchini, M.; Steendahl, I.B.; Impellizzeri, F.M.; Pruna, R.; Dupont, G.; Coutts, A.J.; Meyer, T.; McCall, A. Exercise-Based Strategies to Prevent Muscle Injury in Elite Footballers: A Systematic Review and Best Evidence Synthesis. *Sports Med.* 2020, 50, 1653–1666.

43. Nassis, G.P.; Massey, A.; Jacobsen, P.; Brito, J.; Randers, M.B.; Castagna, C.; Mohr, M.; Krstrup, P. Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020: Preparing players, coaches, and support staff for the evolution. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2020, 30, 962–964.
44. Fox, A.; Bonacci, J.; McLean, S.G.; Spittle, M.; Saunders, N. A Systematic Evaluation of Field-Based Screening Methods for the Assessment of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury Risk. *Sports Med.* 2016, 46, 715–735.
45. Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G.; The Prisma Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med.* 2009, 6, e100009.
46. Alentorn-Geli, E.; Mendiguchía, J.; Samuelsson, K.; Musahl, V.; Karlsson, J.; Cugat, R.; Myer, G.D. Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in sports. Part II: Systematic review of the effectiveness of prevention programmes in male athletes. *Knee Surg. Sport Traumatol. Arthrosc.* 2014, 22, 16–25.
47. Turner, A.N.; Parmar, N.; Jovanovski, A.; Hearne, G. Assessing Group-Based Changes in High-Performance Sport. Part 2: Effect Sizes and Embracing Uncertainty through Confidence Intervals. *Strength Cond. J.* 2021, 43, 68–77.
48. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2009, 41, 3–13.
49. Sterne, J.A.C.; Savović, J.; Page, M.J.; Elbers, R.G.; Blencowe, N.S.; Boutron, I.; Cates, C.J.; Cheng, H.-Y.; Corbett, M.S.; Eldridge, S.M.; et al. RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 2019, 366, 14898.
50. Sterne, J.A.C.; Hernán, M.A.; Reeves, B.C.; Savović, J.; Berkman, N.D.; Viswanathan, M.; Henry, D.; Altman, D.G.; Ansari, M.T.; Boutron, I.; et al. ROBINS-I: A tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ Clin. Res. Ed.* 2016, 355, i4919.
51. Higgins, J.P.T.; Altman, D.G.; Gøtzsche, P.C.; Jüni, P.; Moher, D.; Oxman, A.D.; Savović, J.; Schulz, K.F.; Weeks, L.; Sterne, J.A.C.; et al. The Cochrane Collaboration’s tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* 2011, 343, d5928.
52. Kowalczyk, M.; Tomaszewski, P.; Bartoszek, N.; Popieluch, M. Three-Week Intensive Neuromuscular Training Improves Postural Control in Professional Male Soccer Players. *Pol. J. Sport Tour.* 2019, 26, 14–20.
53. Gilchrist, J.; Mandelbaum, B.R.; Melancon, H.; Ryan, G.W.; Silvers, H.J.; Griffin, L.Y.; Watanabe, D.S.; Dick, R.W.; Dvorak, J. A Randomized Controlled Trial to Prevent Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Collegiate Soccer Players. *Am. J. Sports Med.* 2008, 36, 1476–1483.
54. Grooms, D.R.; Palmer, T.; Onate, J.A.; Myer, G.D.; Grindstaff, T. Soccer-Specific Warm-Up and Lower Extremity Injury Rates in Collegiate Male Soccer Players. *J. Athl. Train.* 2013, 48, 782–789.
55. Krutsch, W.; Lehmann, J.; Jansen, P.; Angele, P.; Fellner, B.; Achenbach, L.; Krutsch, V.; Nerlich, M.; Alt, V.; Loose, O. Prevention of severe knee injuries in men’s elite football by implementing specific training modules. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2019, 28, 519–527.
56. Silvers-Granelli, H.; Mandelbaum, B.R.; Adeniji, O.; Insler, S.; Bizzini, M.; Pohlig, R.; Junge, A.; Snyder-Mackler, L.; Dvorak, J. Efficacy of the FIFA 11+ Injury Prevention Program in the Collegiate Male Soccer Player. *Am. J. Sports Med.* 2015, 43, 2628–2637.
57. Silvers-Granelli, H.J.; Bizzini, M.; Arundale, A.; Mandelbaum, B.R.; Snyder-Mackler, L. Does the FIFA 11+ Injury Prevention Program Reduce the Incidence of ACL Injury in Male Soccer Players? *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2017, 475, 2447–2455.

58. Whalan, M.; Lovell, R.; Steele, J.R.; Sampson, J.A. Rescheduling Part 2 of the 11+ reduces injury burden and increases compliance in semi-professional football. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2019, 29, 1941–1951.
59. Arundale, A.J.H.; Silvers-Granelli, H.J.; Marmon, A.; Zarzycki, R.; Dix, C.; Snyder-Mackler, L. Changes in biomechanical knee injury risk factors across two collegiate soccer seasons using the 11+ prevention program. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2018, 28, 2592–2603.
60. Ayala, F.; Pomares-Noguera, C.; Robles-Palazón, F.J.; García-Vaquero, M.D.P.; Ruiz-Pérez, I.; Hernández-Sánchez, S.; Croix, M.D.S. Training Effects of the FIFA 11+ and Harmoknee on Several Neuromuscular Parameters of Physical Performance Measures. *Int. J. Sports Med.* 2017, 38, 278–289.
61. Brito, J.; Figueiredo, P.; Fernandes, L.; Seabra, A.; Soares, J.M.; Krstrup, P.; Rebelo, A. Isokinetic strength effects of FIFA's "The 11+" injury prevention training programme. *Isokinet. Exerc. Sci.* 2010, 18, 211–215.
62. Brughelli, M.; Mendiguchia, J.; Nosaka, K.; Idoate, F.; Arcos, A.L.; Cronin, J. Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Phys. Ther. Sport* 2010, 11, 50–55.
63. Daneshjoo, A.; Mokhtar, A.H.; Rahnama, N.; Yusof, A. The Effects of Comprehensive Warm-Up Programs on Proprioception, Static and Dynamic Balance on Male Soccer Players. *PLoS ONE* 2012, 7, e51568.
64. Delextrat, A.; Piquet, J.; Matthews, M.J.; Cohen, D.D. Strength-Endurance Training Reduces the Hamstrings Strength Decline Following Simulated Football Competition in Female Players. *Front. Physiol.* 2018, 9, 1–12.
65. Dello Iacono, A.; Padulo, J.; Ayalon, M. Core stability training on lower limb balance strength. *J. Sports Sci.* 2016, 34, 671–678.
66. Dos'Santos, T.; McBurnie, A.; Comfort, P.; Jones, P.A. The Effects of Six-Weeks Change of Direction Speed and Technique Modification Training on Cutting Performance and Movement Quality in Male Youth Soccer Players. *Sports* 2019, 7, 205.
67. Gioftsidou, A.; Ispirilidis, I.; Pafis, G.; Malliou, P.; Bikos, C.; Godolias, G. Isokinetic strength training program for muscular imbalances in professional soccer players. *Sport Sci. Health* 2008, 2, 101–105.
68. Gioftsidou, A.F.; Malliou, P.; Pafis, G.; Beneka, A.; Tsapralis, K.; Sofokleous, P.; Kouli, O.; Rokka, S.; Godolias, G. Balance training programs for soccer injuries prevention. *J. Hum. Sport Exerc.* 2012, 7, 639–647.
69. Gonzalez-Jurado, J.A.; Boza, S.R.; Vázquez, M.C.; Bendala, F.T.; Otero-Saborido, F. Comparación de un entrenamiento propioceptivo sobre base estable y base inestable / Comparison of a Proprioceptive Training Program on Stable Base and Unstable Base. *Rev. Int. Med. Cienc. Act. Física Deporte* 2016, 64, 617–632.
70. Greska, E.K.; Cortes, N.; Van Lunen, B.L.; Oñate, J.A. A Feedback Inclusive Neuromuscular Training Program Alters Frontal Plane Kinematics. *J. Strength Cond. Res.* 2012, 26, 1609–1619.
71. Holcomb, W.R.; Rubley, M.D.; Lee, H.J.; Guadagnoli, M.A. Effect of hamstring-emphasized resistance training on hamstring. *J. Strength Cond. Res.* 2007, 21, 41–47.
72. Ibiş, S.; Aktuğ, Z.B.; Iri, R. Does individual-specific strength training have an effect upon knee muscle strength balances? Knee muscle strength balances. *J. Musculoskelet. Neuronal Interact.* 2016, 18, 183–190.

73. Impellizzeri, F.M.; Bizzini, M.; Dvorak, J.; Pellegrini, B.; Schena, F.; Junge, A. Physiological and performance responses to the FIFA 11+ (part 2): A randomised controlled trial on the training effects. *J. Sports Sci.* 2013, 31, 1491–1502.
74. Lehnert, M.; Stastny, P.; Tufano, J.J.; Stolfa, P. Changes in Isokinetic Muscle Strength in Adolescent Soccer Players after 10 Weeks of Pre-Season Training. *Open Sports Sci. J.* 2017, 10, 27–36.
75. Malliou, P.; Gioftsidou, A.; Pafis, G.; Beneka, A.; Godolias, G. Proprioceptive training (balance exercises) reduces lower extremity injuries in young soccer players. *J. Back Musculoskeletal Rehabil.* 2004, 17, 101–104.
76. McCann, R.; Cortes, N.; Van Lunen, B.; Greska, E.; Ringleb, S.; Onate, J. Neuromuscular Changes Following an Injury Prevention Program for ACL Injuries. *Int. J. Athl. Ther. Train.* 2011, 16, 16–20.
77. Oshima, T.; Nakase, J.; Inaki, A.; Mochizuki, T.; Takata, Y.; Shimozaki, K.; Kinuya, S.; Tsuchiya, H. Comparison of muscle activity, strength, and balance, before and after a 6-month training using the FIFA11+ program (part 2). *J. Orthop. Surg.* 2019, 28, 1–6.
78. Rey, E.; Padrón-Cabo, A.; Penedo-Jamardo, E.; González-Víllora, S. Effect of the 11+ injury prevention programme on fundamental movement patterns in soccer players. *Biol. Sport* 2018, 35, 229–236.
79. Śliwowski, R.; Jadczyk, Ł.; Hejna, R.; Wieczorek, A. The Effects of Individualized Resistance Strength Programs on Knee Muscular Imbalances in Junior Elite Soccer Players. *PLoS ONE* 2015, 10, e0144021.
80. Steffen, K.; Bakka, H.M.; Myklebust, G.; Bahr, R. Performance aspects of an injury prevention program: A ten-week intervention in adolescent female football players. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2008, 18, 596–604.
81. Riela, L.A.; Bertollo, M. The effectiveness of eight weeks of a movement-based program on functional movement patterns in male professional soccer players. *J. Phys. Educ. Sport* 2019, 19, 1976–1983.
82. Sugimoto, D.; Myer, G.D.; McKeon, J.M.; Hewett, T.E. Evaluation of the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: A critical review of relative risk reduction and numbers-needed-to-treat analyses. *Br. J. Sports Med.* 2012, 46, 979–988.
83. Christensen, P.M.; Kristiansen, I.S. Number-Needed-to-Treat (NNT)—Needs Treatment with Care. *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.* 2006, 99, 12–16.
84. Sadigursky, D.; Braid, J.A.; De Lira, D.N.L.; Machado, B.A.B.; Carneiro, R.J.F.; Colavolpe, P.O. The FIFA 11+ injury prevention program for soccer players: A systematic review. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.* 2017, 9, 1–8.
85. O'Brien, J.; Young, W.; Finch, C.F. The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2016, 27, 1337–1346.
86. Bizzini, M.; Junge, A.; Dvorak, J. Implementation of the FIFA 11+ football warm up program: How to approach and convince the Football associations to invest in prevention. *Br. J. Sports Med.* 2013, 47, 803–806.
87. Arundale, A.J.H.; Silvers-Granelli, H.J.; Myklebust, G. ACL injury prevention: Where have we come from and where are we going? *J. Orthop. Res.* 2021.
88. Arundale, A.J.; Bizzini, M.; Giordano, A.; Hewett, T.E.; Logerstedt, D.S.; Mandelbaum, B.; Scalzitti, D.A.; Silvers-Granelli, H.; Snyder-Mackler, L. Exercise-Based Knee and Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2018, 48, A1–A42.

89. Dos'Santos, T.; Thomas, C.; Comfort, P.; Jones, P.A. The Effect of Training Interventions on Change of Direction Biomechanics Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading: A Scoping Review. *Sports Med.* 2019, 49, 1837–1859.
90. Behm, D.; Colado, J.C. The Effectiveness of Resistance Training Using Unstable Surfaces and Devices for Rehabilitation. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 2012, 7, 226–241.
91. Behm, D.G.; Muehlbauer, T.; Kibele, A.; Granacher, U. Effects of Strength Training Using Unstable Surfaces on Strength, Power and Balance Performance Across the Lifespan: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med.* 2015, 45, 1645–1669.
92. Beato, M.; Izquierdo, S.M.; Turner, A.N.; Bishop, C. Implementing strength training strategies for injury prevention in soccer: Sci-entific rationale and methodological recommendations. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2020, 16, 1–6.
93. Lauenstein, J.B.; Andersen, T.E.; Andersen, L.B. Strength training as superior, dose-dependent and safe prevention of acute and overuse sports injuries: A systematic review, qualitative analysis and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2018, 52, 1557–1563.
94. Benjaminse, A.; Verhagen, E. Implementing ACL Injury Prevention in Daily Sports Practice—It's Not Just the Program: Let's Build Together, Involve the Context, and Improve the Content. *Sports Med.* 2021, 1–7.
95. Dischiavi, S.L.; A Wright, A.; Heller, R.A.; Love, C.E.; Salzman, A.J.; Harris, C.A.; Bleakley, C.M. Do ACL Injury Risk Reduction Exercises Reflect Common Injury Mechanisms? A Scoping Review of Injury Prevention Programs. *Sports Health Multidiscip. Approach* 2021.
96. Alentorn-Geli, E.; Mendiguchía, J.; Samuelsson, K.; Musahl, V.; Karlsson, J.; Cugat, R.; Myer, G.D. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in sports—Part I: Systematic review of risk factors in male athletes. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2014, 22, 3–15.
97. Griffin, L.Y.; Albohm, M.J.; Arendt, E.A.; Bahr, R.; Beynon, B.D.; DeMaio, M.; Dick, R.W.; Engebretsen, L.; Garrett, W.E.; Hannafin, J.A.; et al. Understanding and Preventing Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries: A Review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005. *Am. J. Sports Med.* 2006, 34, 1512–1532.
98. Hewett, T.E. Neuromuscular and Hormonal Factors Associated with Knee Injuries in Female Athletes: Strategies for Intervention. *Sports Med.* 2000, 29, 313–327.
99. Mehl, J.; Diermeier, T.; Herbst, E.; Imhoff, A.B.; Stoffels, T.; Zantop, T.; Petersen, W.; Achnich, A. Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2017, 138, 51–61.
100. Oshima, T.; Nakase, J.; Kitaoka, K.; Shima, Y.; Numata, H.; Takata, Y.; Tsuchiya, H. Poor static balance is a risk factor for non-contact anterior cruciate ligament injury. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2018, 138, 1713–1718.
101. Powers, C.M. The Influence of Abnormal Hip Mechanics on Knee Injury: A Biomechanical Perspective. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2010, 40, 42–51.
102. Bahr, R. Risk factors for sports injuries—A methodological approach. *Br. J. Sports Med.* 2003, 37, 384–392.
103. Hewett, T.E.; Myer, G.D.; Ford, K.R.; Heidt, R.S., Jr.; Colosimo, A.J.; McLean, S.G.; Van Den Bogert, A.J.; Paterno, M.V.; Succop, P. Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study. *Am. J. Sports Med.* 2005, 33, 492–501.



104. Hewett, T.E.; Torg, J.S.; Boden, B.P. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: Lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br. J. Sports Med.* 2009, 43, 417–422.
105. Moran, R.W.; Schneiders, A.G.; Mason, J.; Sullivan, S.J. Do Functional Movement Screen (FMS) composite scores predict subsequent injury? A systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2017, 51, 1661–1669.
106. Smith, H.C.; Vacek, P.; Johnson, R.J.; Slauterbeck, J.R.; Hashemi, J.; Shultz, S.; Beynnon, B.D. Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury. *Sports Health Multidiscip. Approach* 2011, 4, 69–78.
107. Johnston, J.T.; Mandelbaum, B.R.; Schub, D.; Rodeo, S.A.; Matava, M.J.; Silvers-Granelli, H.J.; Cole, B.J.; ElAttrache, N.S.; McAdams, T.R.; Brophy, R.H. Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Tears in Professional American Football Athletes. *Am. J. Sports Med.* 2018, 46, 862–868.
108. King, E.; Richter, C.; Daniels, K.A.; Franklyn-Miller, A.; Falvey, E.; Myer, G.D.; Jackson, M.; Moran, R.; Strike, S. Can Biomechanical Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Identify Athletes at Risk for Subsequent ACL Injury to the Contralateral Uninjured Limb? *Am. J. Sports Med.* 2021, 49, 609–619.
109. Dos’Santos, T.; McBurnie, A.; Donelon, T.; Thomas, C.; Comfort, P.; Jones, P.A. A qualitative screening tool to identify athletes with ‘high-risk’ movement mechanics during cutting: The cutting movement assessment score (CMAS). *Phys. Ther. Sport* 2019, 38, 152–161.
110. Padua, D.A.; Marshall, S.W.; Boling, M.C.; Thigpen, C.A.; Garrett, W.E., Jr.; Beutler, A.I. The Landing Error Scoring System (LESS) Is a Valid and Reliable Clinical Assessment Tool of Jump-Landing Biomechanics: The JUMP-ACL study. *Am. J. Sports Med.* 2009, 37, 1996–2002.
111. Herrington, L.; Myer, G.D.; Munro, A. Intra and inter-tester reliability of the tuck jump assessment. *Phys. Ther. Sport* 2013, 14, 152–155.
112. Almangoush, A.; Herrington, L.; Jones, R. A preliminary reliability study of a qualitative scoring system of limb alignment during single leg squat. *Phys. Ther. Rehabil.* 2014, 1, 2.
113. Della Villa, F.; Di Paolo, S.; Santagati, D.; Della Croce, E.; Lopomo, N.F.; Grassi, A.; Zaffagnini, S. A 2D video-analysis scoring system of 90° change of direction technique identifies football players with high knee abduction moment. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2021, 1–10.
114. Thompson-Kolesar, J.A.; Gatewood, C.T.; Tran, A.A.; Silder, A.; Shultz, R.; Delp, S.L.; Dragoo, J.L. Age Influences Biomechanical Changes After Participation in an Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Program. *Am. J. Sports Med.* 2018, 46, 598–606.
115. Thompson, J.A.; Tran, A.A.; Gatewood, C.T.; Shultz, R.; Silder, A.; Delp, S.L.; Dragoo, J.L. Biomechanical Effects of an Injury Prevention Program in Preadolescent Female Soccer Athletes. *Am. J. Sports Med.* 2017, 45, 294–301.
116. Finch, C. A new framework for research leading to sports injury prevention. *J. Sci. Med. Sport* 2006, 9, 3–9.
117. Padua, D.A.; Distefano, L.J.; Hewett, T.E.; Garrett, W.E.; Marshall, S.W.; Golden, G.M.; Shultz, S.J.; Sigward, S.M. National Athletic Trainers’ Association Position Statement: Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injury. *J. Athl. Train.* 2018, 53, 5–19.
118. Sugimoto, D.; Myer, G.D.; Foss, K.D.B.; Pepin, M.J.; Micheli, L.J.; E Hewett, T. Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: Meta-regression analysis. *Br. J. Sports Med.* 2016, 50, 1259–1266.

119. Stølen, T.; Chamari, K.; Castagna, C.; Wisløff, U. Physiology of Soccer. *Sports Med.* 2005, 35, 501–536.
120. Donelon, T.A.; Dos’Santos, T.; Pitchers, G.; Brown, M.; Jones, P.A. Biomechanical Determinants of Knee Joint Loads Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading During Cutting: A Systematic Review and Technical Framework. *Sports Med. Open* 2020, 6, 1–21.
121. Laughlin, W.A.; Weinhandl, J.; Kernozek, T.W.; Cobb, S.C.; Keenan, K.; O’Connor, K.M. The effects of single-leg landing technique on ACL loading. *J. Biomech.* 2011, 44, 1845–1851.
122. Ford, K.; DiCesare, C.; Myer, G.D.; Hewett, T.E. Real-Time Biofeedback to Target Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury: A Technical Report for Injury Prevention and Rehabilitation. *J. Sport Rehabil.* 2015, 24.
123. Gokeler, A.; Benjaminse, A.; Della Villa, F.; Tosarelli, F.; Verhagen, E.; Baumeister, J. Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: Implications for injury screening. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2021, 7, e001091.
124. Benjaminse, A.; Welling, W.; Otten, B.; Gokeler, A. Novel methods of instruction in ACL injury prevention programs, a systematic review. *Phys. Ther. Sport* 2015, 16, 176–186.
125. Harris, M.; Casey, L.B.; Meindl, J.N.; Powell, D.; Hunter, W.C.; Delgado, D. Using Behavioral Skills Training With Video Feedback to Prevent Risk of Injury in Youth Female Soccer Athletes. *Behav. Anal. Pract.* 2020, 13, 811–819.
126. De Sire, A.; Marotta, N.; Demeco, A.; Moggio, L.; Paola, P.; Marotta, M.; Iona, T.; Invernizzi, M.; Leighab, M.; Ammendolia, A. Electromyographic Assessment of Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Male Tennis Players: Which Role for Visual Input? A Proof-of-Concept Study. *Diagnostics* 2021, 11, 997.
127. I Ling, D.; Boyle, C.; Janosky, J.; Chang, B.; Roselaar, N.; Kinderknecht, J.; Marx, R.G. Feedback cues improve the alignment and technique of children performing ACL injury prevention exercises. *J. ISAKOS Jt. Disord. Orthop. Sports Med.* 2021, 6, 3–7.

## **Appendix 1 Risk of Bias in individual studies**

A graph showing the risk of bias in both parallel and cluster RCT at the different domains level of the RoB 2 tool is displayed in Fig. A1. Only one study is reported to be at low overall risk of bias (1), while 4 present some concerns (2–5) and 10 are at high risk of bias (6–15). For a study to be considered at low overall risk of bias in RCT, it is required that all its individual domains present low risk of bias. In the included studies, none of them had pre-registered the study protocol. Given that with no protocol available it is not possible to compare the analyses performed to those initially intended, the 15 RCT were automatically judged at some concerns in the domain “bias in selection of the reported result”. Despite this, the study carried out by Impellizzeri (1) was considered to be at low risk of bias. Given that none of the studies had pre-registered the study protocol, and this was the only study with low risk of bias in all the other domains, a manual override of the algorithm (MOR) was conducted, a possibility that is predicted in Cochrane’s guidelines (16). The domain at the lowest risk of bias of the different studies was “bias in measurement of the outcome”, in which 12/15 studies achieved a low risk of bias given that, generally, outcome measurement methods were appropriate and testers blinders or measurements objective. On the contrary, the domain at the highest risk of bias was “bias

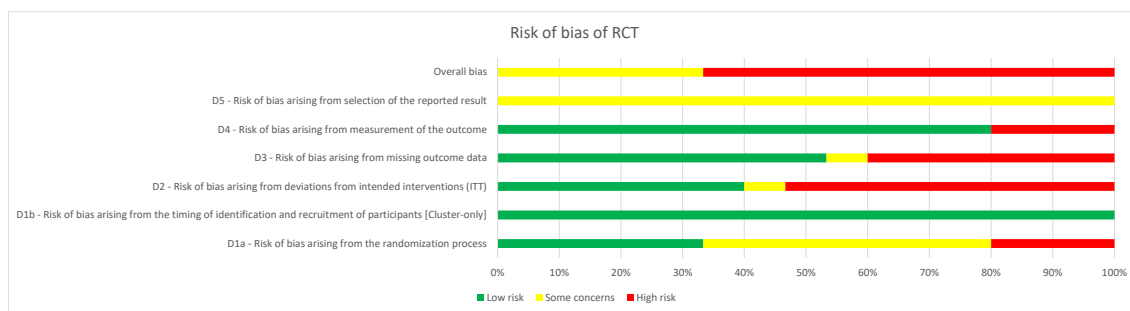
due to deviations from intended interventions”, in which 8/15 studies were reported at high risk of bias. This domain assesses if there are deviations from the intended interventions, likely affecting the outcome, and if there are inappropriate (i.e., per-protocol) or no information regarding the analysis used to estimate the effect of assignment to interventions, issues which placed some studies of the systematic review to high risk of bias (6–9,11,12,14,15). Given that intended-to-treat are preferred over per-protocol analyses when aiming at evaluating the effectiveness of an intervention in the real context (i.e., football teams), per-protocol analyses were considered inappropriate for the purpose of the present review (17). An additional domain was used for assessing the risk of bias of cluster RCT (i.e., risk of bias arising from the timing of identification or recruitment of participants), being in all of them judged as low risk of bias (6,9,12,14).

Regarding the 8 non-RCT, 6 of them were judged as critical risk of bias (18–23), while two were judged at moderate risk of bias (24,25) (Fig. A2). The most problematic domain is the risk of bias due to confounding, where the 6 studies at critical overall risk of bias also present critical (19–23) or serious (18) risk of bias due to poor or no control of confounders (i.e., relevant prognostic variables that could have predicted intervention received at baseline). Those studies should be considered with caution. On the other hand, the domains “bias in classification of interventions” and “bias in measurement of outcomes” were the least problematic, with all studies being judged at low risk of bias. It must be noted that in DosSantos et al. (25) study, strictly following the ROBINS-I tool, the algorithm would require a global assessment of serious risk since one dimension is at serious risk. However, in the other six dimensions, this study presents one “moderate risk” and five “low risk”. Also, in the category that had serious risk, it is possible that true value did not interfere. Additionally, having some number of dropouts in the context of football teams is quite common. Therefore, these are the reasons why authors have finally considered judging it at “moderate” overall risk of bias.

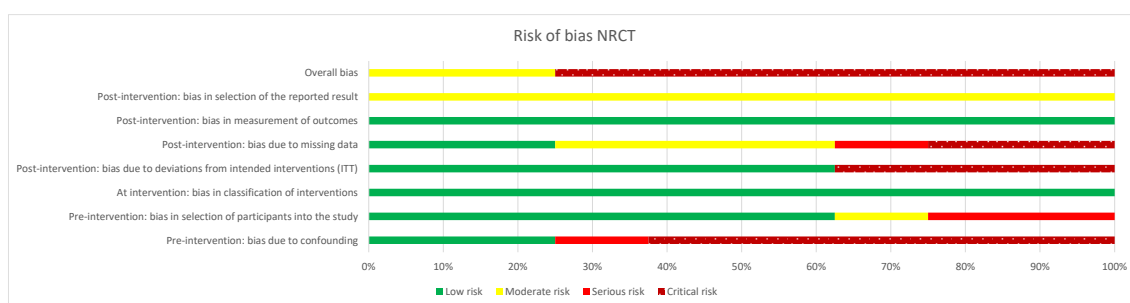
### *Single-arm studies*

Although the aim of the review was to provide evidence coming from all study designs, single arm studies do not provide reliable measures of the effects of an intervention. In fact, the effects may have been: (i) produced or helped by the intervention; (ii) independent of the intervention; or (iii) could have been better without the intervention (26). Therefore, single arm studies should be used to assess feasibility and safety of interventions, while establishing some of the problems associated with their implementations. However, the results should be interpreted with caution. Indeed, the results from single arm studies should not be used to assess the efficacy of the interventions (27). Even if randomization is not possible, multi-arm studies will at least provide a greater degree of understanding, as comparisons will be possible. In this context, single-arm studies, if used for purposes other than assessing feasibility and safety, should be considered at critical risk of bias (26). Therefore, single-arm studies will

be only discussed as potentially feasible implementations whose effectiveness should be further investigated.



**Figure A1.** Risk of bias graph of the randomized-controlled trials (RCT) (i.e. Cochrane's RoB 2).



**Figure A2.** Risk of bias graph of the nonrandomized studies (NRCT) (i.e. Cochrane's ROBINS-I).

## References

1. Impellizzeri FM, Bizzini M, Dvorak J, Pellegrini B, Schena F, Junge A. Physiological and performance responses to the FIFA 11+ (part 2): A randomised controlled trial on the training effects. *J Sports Sci.* 2013;31(13):1491–502.
2. Steffen K, Bakka HM, Myklebust G, Bahr R. Performance aspects of an injury prevention program: A ten-week intervention in adolescent female football players. *Scand J Med Sci Sport.* 2008;18(5):596–604.
3. Brughelli M, Mendiguchia J, Nosaka K, Idoate F, Arcos AL, Cronin J. Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players. *Phys Ther Sport* [Internet]. 2010;11(2):50–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2009.12.002>
4. Dello Iacono A, Padulo J, Ayalon M. Core stability training on lower limb balance strength. *J Sports Sci* [Internet]. 2016;34(7):671–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2015.1068437>
5. Rey E, Padrón-Cabo A, Penedo-Jamardo E, González-Víllora S. Effect of the 11+ injury prevention programme on fundamental movement patterns in soccer players. *Biol Sport.* 2018;35(3):229–36.
6. Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, Griffin LY, et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *Am J Sports Med.* 2008;36(8):1476–83.
7. Daneshjoo A, Mokhtar AH, Rahnama N, Yusof A. The Effects of Comprehensive Warm-Up Programs on Proprioception, Static and Dynamic Balance on Male Soccer Players. *PLoS One.*

- 2012;7(12):1–10.
8. Gioftsidou A, Malliou P, Pafis G, Beneka A, Tsapralis K, Sofokleous P, et al. Balance training programs for soccer injuries prevention. *J Hum Sport Exerc.* 2012;7(3):639–47.
  9. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, Insler S, Bizzini M, Pohlig R, et al. Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *Am J Sports Med* [Internet]. 2015;43(11):2628–37. Available from: <https://doi.org/10.1177/0363546515602009>
  10. Gonzalez-Jurado JA, Romero Boza S, Campos Vázquez MA, Toscano Bendala FJ, Otero-Saborido FM. Comparación de un entrenamiento propioceptivo sobre base estable y base inestable / Comparison of a Proprioceptive Training Program on Stable Base and Unstable Base. *Rev Int Med y Ciencias la Act Física y del Deport.* 2016;64(2016):617–32.
  11. Ayala F, Pomares-Noguera C, Robles-Palazón FJ, Del Pilar García-Vaquero M, Ruiz-Pérez I, Hernández-Sánchez S, et al. Training Effects of the FIFA 11+ and Harmoknee on Several Neuromuscular Parameters of Physical Performance Measures. *Int J Sports Med.* 2017;38(4):278–89.
  12. Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Does the FIFA 11+ Injury Prevention Program Reduce the Incidence of ACL Injury in Male Soccer Players? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(10):2447–55.
  13. Delextrat A, Piquet J, Matthews MJ, Cohen DD. Strength-endurance training reduces the hamstrings strength decline following simulated football competition in female players. *Front Physiol.* 2018;9(AUG):1–12.
  14. Whalan M, Lovell R, Steele JR, Sampson JA. Rescheduling Part 2 of the 11+ reduces injury burden and increases compliance in semi-professional football. *Scand J Med Sci Sport.* 2019;29(12):1941–51.
  15. Riela LA, Bertollo M. The effectiveness of eight weeks of a movement-based program on functional movement patterns in male professional soccer players. *J Phys Educ Sport.* 2019;19(5):1976–83.
  16. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2011;343(7829):1–9.
  17. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2019;366:1–8.
  18. Krusch W, Lehmann J, Jansen P, Angele P, Fellner B, Achenbach L, et al. Prevention of severe knee injuries in men's elite football by implementing specific training modules. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2020;28(2):519–27. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05706-w>
  19. Grooms DR, Palmer T, Onate JA, Myer GD, Grindstaff T. Soccer-specific warm-up and lower extremity injury rates in collegiate male soccer players. *J Athl Train.* 2013;48(6):782–9.
  20. Sliwowski R, Jadczyk Ł, Hejna R, Wiecek A. The Effects of Individualized Resistance Strength Programs on Knee Muscular Imbalances in Junior Elite Soccer Players. *PLoS One.* 2015;10(12):1–14.
  21. Ibis S, Aktuğ ZB, Iri R. Does individual-specific strength training have an effect upon knee muscle strength balances? *Knee muscle strength balances. J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2018;18(2):183–90.
  22. Arundale AJH, Silvers-Granelli HJ, Marmon A, Zarzycki R, Dix C, Snyder-Mackler L. Changes in biomechanical knee injury risk factors across two collegiate soccer seasons using the 11+ prevention program. *Scand J Med Sci Sport.* 2018;28(12):2592–603.
  23. Gioftsidou A, Ispirlidis I, Pafis G, Malliou P, Bikos C, Godolias G. Isokinetic strength training program for muscular imbalances in professional soccer players. *Sport Sci Health.* 2008;2(3):101–5.

24. Malliou P, Gioftsidou A, Pafis G, Beneka A, Godolias G. Proprioceptive training (balance exercises) reduces lower extremity injuries in young soccer players. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2004;17(3–4):101–4.
25. Dos’Santos T, McBurnie A, Comfort P, Jones PA. The Effects of Six-Weeks Change of Direction Speed and Technique Modification Training on Cutting Performance and Movement Quality in Male Youth Soccer Players. *Sports.* 2019;7(9):205.
26. Cucherat M, Laporte S, Delaitre O, Behier J-M, d’Andon A, Binlich F, et al. From single-arm studies to externally controlled studies. Methodological considerations and guidelines. *Therapies [Internet].* 2020;75(1):21–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.therap.2019.11.007>
27. Evans SR. Clinical trial structures. *J Exp Stroke Transl Med.* 2010;3(1):8–18.

### Artículo 3. Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening.

Physical Therapy in Sport 56 (2022) 15–23



Contents lists available at ScienceDirect

Physical Therapy in Sport

journal homepage: [www.elsevier.com/ptsp](http://www.elsevier.com/ptsp)



## Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening



Jesús Olivares-Jabalera <sup>a, b</sup>, Alberto Filter-Ruger <sup>b</sup>, Thomas Dos'Santos <sup>b, c</sup>,  
José Ortega-Domínguez <sup>d</sup>, Rubén R. Sánchez-Martínez <sup>a</sup>, Víctor M. Soto Hermoso <sup>a, \*</sup>,  
Bernardo Requena <sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> Sport and Health University Research Institute (iMUDS), Department of Physical Education and Sports, Faculty of Sport Sciences, University of Granada, Granada, 18071, Spain

<sup>b</sup> FSI Sport Research Lab, Granada, Spain

<sup>c</sup> Department of Sport and Exercise Sciences, Musculoskeletal Science and Sports Medicine Research Centre, Manchester Metropolitan University, All Saints Building, Manchester Campus John Dalton Building, Manchester Campus, Manchester, M15 6BH, UK

<sup>d</sup> Club Deportivo Don Benito, Badajoz, Spain

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 20 December 2021

Received in revised form

30 May 2022

Accepted 31 May 2022

##### Keywords:

Field assessments

Change of direction

Landing

Qualitative evaluation

#### ABSTRACT

**Objectives:** To investigate the relationship between the Landing Error Scoring System (LESS) and Cutting Movement Assessment Score (CMAS) to evaluate movement quality, their intra- (INTRAob) and inter-observer (INTERob) reliability, and the comparison between the two drop vertical jump (DVJ) landings (1st and 2nd).

**Design:** Cross-sectional.

**Participants:** 42 male semi-professional soccer players performed three trials of DVJ and 70° change of direction with a ball located as an external focus.

**Main outcome measures:** Movement quality was evaluated through 2D video footage using the CMAS and LESS, screened by two observers. Relational, comparative and reliability analyses were conducted.

**Results:** Both tools showed moderate to substantial (ICC = 0.58–0.71), and substantial to almost perfect (ICC = 0.68–0.87) INTRAob and INTERob reliability, respectively. No significant associations were found among CMAS, LESS 1st and 2nd for either scores or risk profiles ( $r = -0.158-0.202$ ,  $p > 0.05$ ). LESS 2nd was moderately higher (ES = 0.80–0.83,  $p = 0.002-0.007$ ) than 1st scores.

**Conclusions:** CMAS and LESS are reliable tools to evaluate movement quality, although evaluations should be preferably performed by the same observer; ACL injury risk profile's is task-dependent; both landings of the DVJ should be assessed as they represent different biomechanical and neuromuscular control deficits.

© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

#### 1. Introduction

Mitigating soccer injuries is of primary interest for sports medicine practitioners. Injuries have a meaningful impact on team performance, with lower injury rates associated with increased team performance, in both domestic and European competitions (Häggglund et al., 2013), with important financial implications

(Eliakim, Morgulev, Lidor, & Meckel, 2020). Of concern in soccer is anterior cruciate ligament (ACL) injuries, which results in extensive rehabilitation periods (>6 months) (Tabben et al., 2020), can be career threatening and can increase risk of developing knee osteoarthritis (Øiestad, Holm, Engebretsen, & Risberg, 2011). Additionally, post ACL injury, athletes are at risk of suffering a second ACL injury (Della Villa, Häggglund, Della Villa, Ekstrand, & Waldén, 2021; Webster, 2021), and not returning to the previous level of performance (Waldén, Häggglund, Magnusson, & Ekstrand, 2016). Consequently, maximising soccer players' availability and mitigating ACL injury risk (Olivares-Jabalera et al., 2021) is of great

\* Corresponding author. iMUDS, University of Granada, C/Menéndez Pelayo, 32, 18016, Granada, Spain.

E-mail address: [vsoto@ugr.es](mailto:vsoto@ugr.es) (V.M. Soto Hermoso).

<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.05.015>

1466-853X/© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## RESUMEN

**Objetivos:** Investigar la relación entre el Landing Error Scoring System (LESS) y el Cutting Movement Assessment Score (CMAS) para evaluar la calidad de movimiento, sus niveles de fiabilidad intra (INTRAob) e interobservador (INTERob) y realizar una comparativa entre los dos aterrizajes (1st y 2nd) del drop vertical jump (DVJ)

**Diseño:** Transversal.

**Participantes:** 42 futbolistas semiprofesionales (hombres) realizaron tres repeticiones de un DVJ y un cambio de dirección de 70 grados con el balón situado como foco externo.

**Variables de interés:** Dos observadores, de manera independiente, evaluaron la calidad de movimiento a través de un análisis de vídeo 2D utilizando las escalas CMAS y LESS. A nivel estadístico, se llevaron a cabo análisis relacionales, comparativos y de fiabilidad.

**Resultados:** Ambas escalas mostraron niveles de moderados a sustanciales (ICC = 0.58-0.71), y de sustanciales a casi perfectos (ICC = 0.68-0.87) de fiabilidad INTRAob y INTERob, respectivamente. No se encontraron asociaciones significativas entre el CMAS, LESS 1st y LESS 2nd ni para las puntuaciones globales ni para los perfiles de riesgo ( $r = -0.158-0.202$ ,  $p > 0.05$ ). Las puntuaciones para el LESS 2nd fueron moderadamente mayores que para el LESS 1nd (ES = 0.80-0.83,  $p = 0.002-0.007$ ).

**Conclusiones:** El CMAS y el LESS son escalas fiables para evaluar la calidad de movimiento de futbolistas semiprofesionales, aunque preferiblemente deberían ser realizadas por el mismo observador; el perfil de riesgo de LCA depende de la tarea; dado que representan diferentes déficits biomecánicos y neuromusculares, ambos aterrizajes en el DVJ deberían ser evaluados de forma diferenciada.

**Palabras clave:** evaluaciones de campo, cambio de dirección, aterrizaje, evaluación cualitativa.

## ABSTRACT

**Objectives:** To investigate the relationship between the Landing Error Scoring System (LESS) and Cutting Movement Assessment Score (CMAS) to evaluate movement quality, their intra- (INTRAob) and inter-observer (INTERob) reliability, and the comparison between the two drop vertical jump (DVJ) landings (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup>).

**Design:** Cross-sectional.

**Participants:** 42 male semi-professional soccer players performed three trials of DVJ and 70° change of direction with a ball located as an external focus.

**Main Outcome Measures:** Movement quality was evaluated through 2D video footage using the CMAS and LESS, screened by two observers. Relational, comparative and reliability analyses were conducted.



*Results:* Both tools showed moderate to substantial (ICC=0.58-0.71), and substantial to almost perfect (ICC=0.68-0.87) INTRAob and INTERob reliability, respectively. No significant associations were found among CMAS, LESS 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> for either scores or risk profiles ( $r=-0.158-0.202$ ,  $p>0.05$ ). LESS 2<sup>nd</sup> was moderately higher (ES=0.80-0.83,  $p=0.002-0.007$ ) than 1<sup>st</sup> scores.

*Conclusions:* CMAS and LESS are reliable tools to evaluate movement quality, although evaluations should be preferably performed by the same observer; ACL injury risk profile's is task-dependent; both landings of the DVJ should be assessed as they represent different biomechanical and neuromuscular control deficits.

**Key words:** field assessments, change of direction, landing, qualitative evaluation.

**Highlights:**

- CMAS and LESS are reliable tools to evaluate movement quality in soccer players.
- Ideally, CMAS and LESS evaluations should be performed by the same observer.
- Players' anterior cruciate ligament injury risk profile is task-dependent.
- Both landings in the drop vertical jump provide different yet useful information.

## INTRODUCTION

Mitigating soccer injuries is of primary interest for sports medicine practitioners. Injuries have a meaningful impact on team performance, with lower injury rates associated with increased team performance, in both domestic (Hägglund et al., 2013) and European competitions (Hägglund et al., 2013), with important financial implications (Eliakim, Morgulev, Lidor, & Meckel, 2020). Of concern in soccer is anterior cruciate ligament (ACL) injuries, which results in extensive rehabilitation periods (>6 months) (Tabben et al., 2020), can be career threatening and can increase risk of developing knee osteoarthritis (Øiestad, Holm, Engebretsen, & Risberg, 2011). Additionally, post ACL injury, athletes are at risk of suffering a second ACL injury (Della Villa, Hägglund, Della Villa, Ekstrand, & Waldén, 2021; Webster, 2021), and not returning to the previous level of performance (Waldén, Hägglund, Magnusson, & Ekstrand, 2016). Consequently, maximising soccer players' availability and mitigating ACL injury risk (Olivares-Jabalera et al., 2021) is of great importance.

Eighty-eight percent of soccer ACL injuries occur during non-contact scenarios (i.e., cutting or landing) or involve indirect contact to the players' injured knee (i.e. resulting from an external force applied to the footballer, but not directly to the injured knee) (Della Villa et al., 2020). For example, 48% of these injuries occur during cutting actions while pressing or jump-landing (Della Villa et al., 2020; Grassi et al., 2020; Waldén et al., 2015). From a biomechanical perspective, during pressing ACL injury inciting events, dynamic knee valgus, ipsilateral trunk tilt and contralateral rotation, abducted hip and a flat and externally rotated foot are commonly observed (Della Villa et al., 2020). During

jump-landing, extended knee and hip postures, lateral trunk flexion, hip internal rotations and knee valgus, are typical visual characteristics of non-contact ACL injuries (Padua et al., 2009). These aforementioned postures are associated with and can increase external knee abduction moments (KAM) during changes of direction (COD) (Dos'Santos, Thomas, McBurnie, Comfort, & Jones, 2021; Havens & Sigward, 2015) and landing (Hewett et al., 2005; Powers, 2010). Resultantly, these are considered high-risk postures (i.e., surrogates of ACL injury risk) which potentially increase ACL injury risk and thus, are specific deficits targeted in preventative training programmes (Dos'Santos, McBurnie, Comfort, & Jones, 2019).

Assessing athletes' movement quality during activities that are similar to ACL injury mechanisms appears to be an effective way of identifying those athletes at potentially higher injury risk (Buckthorpe, 2021). Generally, laboratory-based measures (i.e. three-dimensional (3D) motion analysis), is considered the gold standard method, which can accurately evaluate full-body kinetics and kinematics related to potential injury risk during sporting movements (Fox, Bonacci, McLean, Spittle, & Saunders, 2016). However, the cost effectiveness and feasibility of this technology is prohibitive to most of the community-level for large mass screening of soccer players (Myer, Ford, Brent, & Hewett, 2007). Consequently, recent efforts have been directed to creating alternative field-based tests to identify athletes who display poor movement quality and thus potential high-risk of ACL injury (Fox et al., 2016). For example the Landing Error Scoring System (LESS) (Padua et al., 2009), is a valid and reliable 17-item to evaluate drop vertical jump (DVJ) movement quality (Padua et al., 2011, 2009), while the Cutting Movement Assessment Score (CMAS) is also a validated and cost-effective tool to identify athletes at higher risk of ACL injury (Dos'Santos, McBurnie, Donelon, et al., 2019; Dos'Santos, Thomas, McBurnie, Donelon, et al., 2021). However, the reliability and implementation of these tools in adult, semi-professional soccer players have yet to be established.

In soccer environments, time is often limited for testing, as a myriad of different factors (i.e. physical, technical-tactical, psychological) are trained during microcycle (Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, 2005). To potentially save time when screening, further insight is required to establish which test provides most useful information with the least equipment and testing time requirements. In this sense, knowing if there exist some redundancy between landing and cutting tasks would be of interest. However, although relationships between biomechanics in both tasks has been explored using 3D objective kinetic and kinematic data (Cortes, Onate, & van Lunen, 2011; Jones, Herrington, Munro, & Graham-Smith, 2014; Kristianslund & Krosshaug, 2013; Krosshaug et al., 2016; Øiestad et al., 2010; Verhagen, Van Dyk, Clark, & Shrier, 2018), no study has investigated the relationship between cutting and landing movement quality using field-based qualitative screening tools which could be easily applied in soccer environments. Specifically, no study has analysed the potential differences and commonalities between two scientifically validated qualitative scales such as LESS and CMAS, as well as their ability to qualitatively categorise players into low and high risk of ACL injury.

Additionally, whether some risky patterns (e.g. knee abduction and flexion angles, trunk control) reliant on the task has not been studied in manoeuvres predisposing to ACL injury in a soccer-specific environment. Furthermore, to our best knowledge, no study has compared LESS scores between the two DVJ landings. Therefore, it is unknown if similar movement quality is displayed between the two landings, and it is unclear if one could provide a better insight of the player's landing-injury profile.

The aims of the present study were threefold: (i) analyse intra- (INTRAob) and inter-observer (INTERob) reliability of jump-landing (LESS) and COD (CMAS) movement quality assessments in presence of a ball as an external stimulus, (ii) investigate the relationship between LESS and CMAS scores to identify athletes at high-risk of ACL injury, and (iii) compare injury risk profiles and LESS scores between the two DVJ landings assessments (LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup>).

## MATERIALS AND METHODS

### Experimental Approach to the Problem

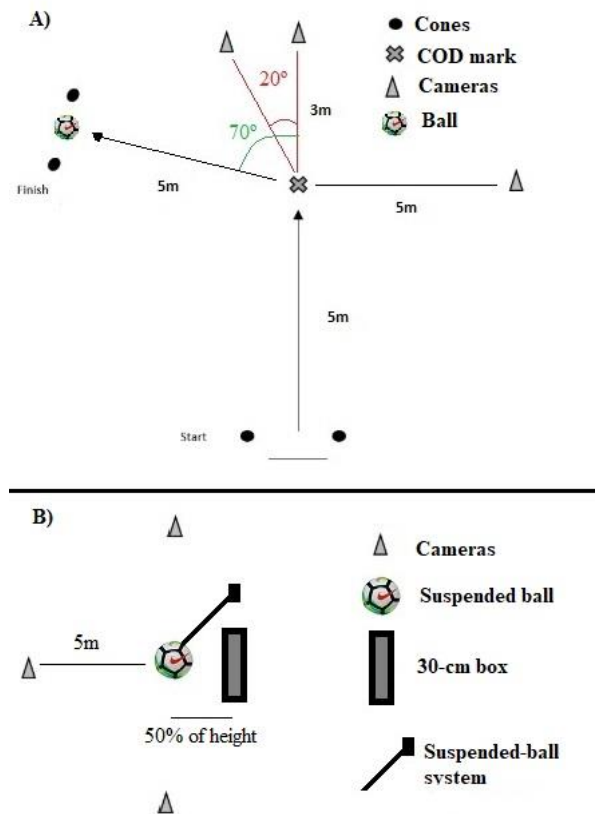
A cross-sectional design was used for investigating the relationship between CMAS and LESS 1<sup>st</sup>, and LESS 2<sup>nd</sup>, and INTRAob and INTERob reliability of both tools. Participants were required to not vigorously exercise (i.e. no exposure to either high-load training sessions or games) 48h prior to testing. In a single session, participants performed, in a randomised order, three 70°COD (COD70) trials (three each direction), and three bilateral DVJ trials whereby 2D video footage were collected. Participants were instructed to execute the tests at maximal intensity, using a ball as a sports-specific external reference. Afterwards, CMAS and LESS tools were used to screen and evaluate movement quality of the COD70 and DVJ, respectively, by two raters. Relational, comparative and reliability analyses were carried out from these extracted data.

### Subjects

Forty-two adult, male semi-professional (3<sup>RD</sup> and 4<sup>th</sup> division Spanish League) soccer players (age, 25.8±4.9 years; height, 1.80±0.07 m; mass, 76.0±8.9 kg; ≥15 years of soccer experience.) participated in this study. The following inclusion criteria was applied: train ≥ four times a week, not having suffered a severe knee injury in the two years before, and being free of injury at the time of data collection. Goalkeepers (n=6) were excluded, and their data were considered only for evaluating DVJ landings (aim 3). Only outfield players were considered for the rest of analyses (aims 1 & 2). A minimum sample size of 42 was calculated from an a priori power analysis using G\*Power (Version 3.1, University of Dusseldorf, Düsseldorf, Germany), based upon a correlational value of 0.5 (large effect), power of 0.95, and type 1 error of 0.05. All subjects were informed of the risk and benefits of taking part in the study and signed an informed consent prior to data collection. The methodology used was approved by the Local Ethics Committee and conformed to the policy statement with respect to the Declaration of Helsinki.

## Procedures

After completing a standardized warm-up (5' minutes self-selected jogging, 5' dynamic warm-up drills and sub-maximal familiarization trials with the tests), subjects performed three trials of the COD70 and DVJ. The COD70 was performed following previous methodologies (Dos' Santos, McBurnie, Donelon, et al., 2019). Subjects were asked to sprint from the starting line at maximal velocity for 5 m, COD in the designated mark, and sprint for 5 m more towards a ball located at the end of the movement (fig. 1a).



**Figure 1.** Experimental set-up for both the A) 70° change of direction, and B) drop vertical jump.

The DVJ was carried out in accordance with previous research (Padua et al., 2009), but with the inclusion of a suspended ball as an sport-specific external reference to reflect soccer-specific jumping biomechanics as it has shown to impact jump biomechanics (i.e. decrease ground contact times and braking impulse, increase rate of force development and maximum height reached) (Fíler et al., 2021)) (fig. 1b). For both tasks, participants were required to perform three successful trials, in the case of COD70 with both dominant (D): preferred limb to perform a penalty kick and nondominant (ND) limbs. All tasks were performed on an artificial grass field with their usual training footwear.

2D video footage for all tasks (240 Hz) were collected using three iPhone 11 (iOS 14.4.1, Apple, Inc., USA) smartphones, mounted upon 60-cm tripods at a distance of 3 m and 5 m perpendicular to the COD70 or DVJ. For the COD70, smartphones were placed at

frontal, 20 degrees from frontal, and side views (fig. 1a) (Dos' Santos, Thomas, McBurnie, Donelon, et al., 2021). For the DVJ, one camera was placed at frontal, and two at side views (fig. 1b). All video footage was retrospectively viewed in Kinovea (0.8.15 for Windows, Bordeaux, France) for qualitative screening, and data analysed using the CMAS and LESS tools. Observers were two soccer strength and conditioning coaches and researchers with academic qualifications in Sports Sciences (Master's Degree). The week after the data were collected, the observers performed the screening independently, while their scores were collated by a third researcher (TDS) for the calculation of INTERob. The scores of the second and third trials from Observer 1 were used for INTRAob analyses.

CMAS and LESS screenings were performed in line with Dos' Santos et al. (Dos' Santos, Thomas, McBurnie, Donelon, et al., 2021) and Padua et al. (Padua et al., 2009), respectively. However, a 10<sup>th</sup> item was included in CMAS: rearfoot/forefoot contact, in line with recent CMAS recommendations (Dos' Santos, Thomas, McBurnie, Donelon, et al., 2021). The LESS screening was used to analyse both the first (the aim being jumping as high as possible to head the ball immediately after the landing) and second (the aim solely being landing after the maximum jump performed to head the ball) landings of the DVJ. A detailed description of the procedures and statistical analyses is provided as Supplementary Material.

### **Statistical analyses**

All statistical analyses were performed in SPSS v 25 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel (version 2019, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Percentage agreements (sum of agreements / total of observations \* 100) (Onate, Cortes, Welch, & Van Lunen, 2010) and Kappa coefficients (Viera & Garret, 2005) were calculated for INTRAob and INTERob reliability of the CMAS and LESS individual items. For INTERob reliability, 101 and 94 trials were compared between the two observers for the CMAS and LESS tools, respectively, while 36 were compared for INTRAob reliability for both tasks for the reference observer. For INTERob reliability of CMAS and LESS scores, paired *t* tests and intraclass correlation coefficients (ICC) between scores from two observers were conducted after data were checked for normality. Mean differences and Hedges' *g* effect sizes (ES) with 95% confidence intervals (CI) were calculated. For the INTRAob reliability of CMAS and LESS scores, technical error of measurement (TEM), coefficient of variation (CV) (Baumgartner & Chung, 2009), ICC, and smallest detectable change (SDD) (Kropmans, Dijkstra, Stegenga, Stewart, & De Bont, 1999) were calculated.

For the study's second aim, Pearson product-moment correlations (Hopkins, 2002) between CMAS, LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scores were calculated. Percentage agreements and Kappa coefficients were calculated to establish agreements in low, moderate, and high injury risk classifications based on terciles (low, moderate, and high) between CMAS and LESS 1<sup>st</sup>, and CMAS and LESS 2<sup>nd</sup>. The  $\chi^2$  test was used to establish if there was any relationship in risk profile between CMAS and LESS 1<sup>st</sup>, and CMAS and LESS

2<sup>nd</sup>. For this analysis, the sample was split by the median value (high and low), so it was high enough to all expected cell counts in the  $\chi^2$  were greater than five. Additionally,  $\chi^2$  was also conducted to establish if there was relationship between the presence of knee valgus at initial contact in CMAS and LESS 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup>, and knee valgus at weight acceptance in CMAS and at peak knee flexion (PKF) in LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup>, as aberrant knee kinematics has been recurrently found in mechanisms of ACL injury (Della Villa et al., 2020; Grassi et al., 2020).

For the study's third aim, mean differences and Hedges' *g* ES, and Pearson's *r* were conducted to establish differences and relationships, respectively, between the LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scores. Percentage agreements and Kappa coefficients were additionally calculated for analysing agreement between low, moderate, and high injury risk profiles classifications between the two landings. Furthermore, percentages of appearance of the individual items were calculated for both scales. Statistical significance was defined  $p \leq 0.05$  for all tests. As three trials were performed for each test, participants were considered to have displayed the deficits when it appeared in at least 2 of the 3 trials. For example, if participant scored 0, 0 and 1 in knee valgus at initial contact in CMAS, a '0' was selected as his representative value for knee valgus at initial contact.

## RESULTS

### Reliability of CMAS and LESS scales

Table 1 shows INTERob and INTRAob reliability of CMAS individual items. On average, agreement between the two observers were moderate (76%) and excellent (88%), with fair ( $k=0.35$ ) and moderate ( $k=0.57$ ) Kappa coefficients for INTERob and INTRAob reliability, respectively. Table 2 shows INTERob and INTRAob reliability of LESS individual items. On average, agreements were excellent for both INTERob and INTRAob (83 and 87%, respectively), while Kappa coefficients were moderate ( $k=0.50-0.59$ ). There were no significant and trivial differences between observers in CMAS (ES=0.09,  $p=0.280$ ), yet a moderate significant difference in LESS 1<sup>st</sup> (ES=0.67,  $p<0.001$ ) scores was observed. Additionally, moderate and substantial INTERob reliability was found for CMAS (ICC=0.58) and LESS 1<sup>st</sup> (ICC=0.71), respectively. INTRAob reliability data between scores for CMAS, LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> is shown in Table 3. LESS 2<sup>nd</sup> and CMAS showed a substantial reliability (ICC=0.68-0.70), while LESS 1<sup>st</sup> showed an almost perfect INTRAob reliability (ICC=0.87). Additionally, all tasks scores excluding LESS 2<sup>nd</sup> (CV=15.72) displayed values  $CV < 15\%$  for intra-subject reliability.

**Table 1**

Inter- and intra-observer reliability of individual items for the CMAS tool. PFC = penultimate foot contact.

	Inter-observer reliability		Intra-observer reliability	
	% of agreement	<i>k</i>	% of agreement	<i>k</i>
<b>Clear PFC braking</b>	94	0.59	91	0.52
<b>Wide lateral leg plant</b>	97	0.24	94	0.32
<b>Hip in an internally rotated position</b>	80	0.48	88	0.64
<b>Initial knee 'valgus' position</b>	77	0.41	94	0.77

<b>Inwardly rotated foot position</b>	64	0.31	85	0.68
<b>Frontal plane trunk position relative to intended direction</b>	66	0.38	74	0.36
<b>Trunk upright or leaning back throughout contact</b>	57	0.16	79	0.59
<b>Limited knee flexion during final contact</b>	72	0.00	100	-
<b>Excessive knee ‘valgus’ motion during contact</b>	71	0.37	76	0.52
<b>Foot contact</b>	83	0.53	94	0.72
<b>Average</b>	76	0.35	88	0.57

**Table 2**

Inter- and intra-observer reliability of individual items for the LESS tool. IC = initial contact.

	Inter-observer reliability		Intra-observer reliability	
	% of agreement	<i>k</i>	% of agreement	<i>k</i>
<b>Knee flexion at IC</b>	73	0.25	88	0.72
<b>Hip flexion at IC</b>	100	-	100	-
<b>Trunk flexion at IC</b>	84	0.18	79	0.40
<b>Ankle plantar flexion at IC</b>	97	0.85	82	0.18
<b>Medial knee position at IC</b>	84	0.45	79	0.34
<b>Lateral trunk flexion at IC</b>	94	0.63	79	0.25
<b>Stance width: wide</b>	79	0.40	97	0.93
<b>Stance width: narrow</b>	90	0.81	88	0.76
<b>Foot position: external rotation</b>	77	0.56	85	0.69
<b>Foot position: internal rotation</b>	100	-	100	-
<b>Symmetric initial foot contact at IC</b>	73	0.47	71	0.41
<b>Knee-flexion displacement</b>	81	0.38	85	0.64
<b>Hip-flexion displacement</b>	100	-	100	-
<b>Trunk-flexion displacement</b>	91	0.79	88	0.75
<b>Medial-knee displacement</b>	87	0.73	88	0.76
<b>Joint displacement</b>	53	0.28	88	0.82
<b>Overall impression</b>	51	0.21	82	0.65
<b>Average</b>	83	0.50	87	0.59

**Table 3**

Intra-observer reliability of CMAS and LESS (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> landing) scores (trial 2 vs trial 3). CMAS = cutting movement assessment score, LESS = landing error scoring system, 1<sup>st</sup> = first landing, 2<sup>nd</sup> = second landing, ICC = intraclass correlation coefficient, LL = lower limit, UL = upper limit, CV = coefficient of variation, TE = typical error, SDD = smallest detectable change.

	ICC	LL	UL	CV	LL	UL	TE	LL	UL	SDD
<b>CMAS</b>	0.70	0.58	0.80	14.17	12.29	15.67	0.78	0.68	0.92	2.13
<b>LESS 1<sup>st</sup></b>	0.87	0.81	0.92	13.51	11.72	15.97	0.83	0.72	0.99	2.30
<b>LESS 2<sup>nd</sup></b>	0.68	0.52	0.79	15.72	13.39	19.03	1.24	1.06	1.50	2.45

### Relationship between CMAS and LESS tools

Table 4 shows the relationship between CMAS, LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scores for ND, D and mean of both limbs, with all relationships being nonsignificant and trivial to small. The  $\chi^2$  test revealed no significant relationship between risk categories (high, low) for any of the possible combinations between CMAS and LESS (ND, D and mean between limbs)

tools, either for the first and second landing ( $p=0.182-1.000$ ). Additionally, when comparing the presence/absence of knee valgus at initial contact in CMAS and LESS 1<sup>st</sup>, and CMAS and LESS 2<sup>nd</sup>, all were nonsignificant, except for the relationship of knee valgus at initial contact between CMAS and LESS 1<sup>st</sup> for the ND limb that were moderately associated ( $C=0.376$ ,  $p=0.016$ ). Out of the 36 players observed in both tests, 30 (83%) shared the same kinematics, in which 27 (75% showed no knee valgus), and 3 (8%) showed knee valgus at initial contact. For the knee valgus at WA (for CMAS) and at PKF (for LESS) items, there were no significant relationship for any comparison. Percentage agreements and Kappa coefficients between risk categories for CMAS, LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> are shown in Table 5. Agreements in risk classifications were poor (23-50%), with poor or slight Kappa coefficients for all comparisons, except for the relationship between CMAS and LESS 2<sup>nd</sup> in ND, which was fair ( $k = 0.25$ ). Figure 2 depicts a scatter plot showing CMAS and LESS 1<sup>st</sup> risk profiles (high and low) illustrating the poor relationship and agreements between tasks.

**Table 4**

Relationship between CMAS and LESS (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> landing) scores. CMAS = cutting movement assessment score, LESS = landing error scoring system, ND = nondominant, D = dominant. \* = significant ( $p < 0.05$ ) relationship between variables using Pearson product-moment correlations.

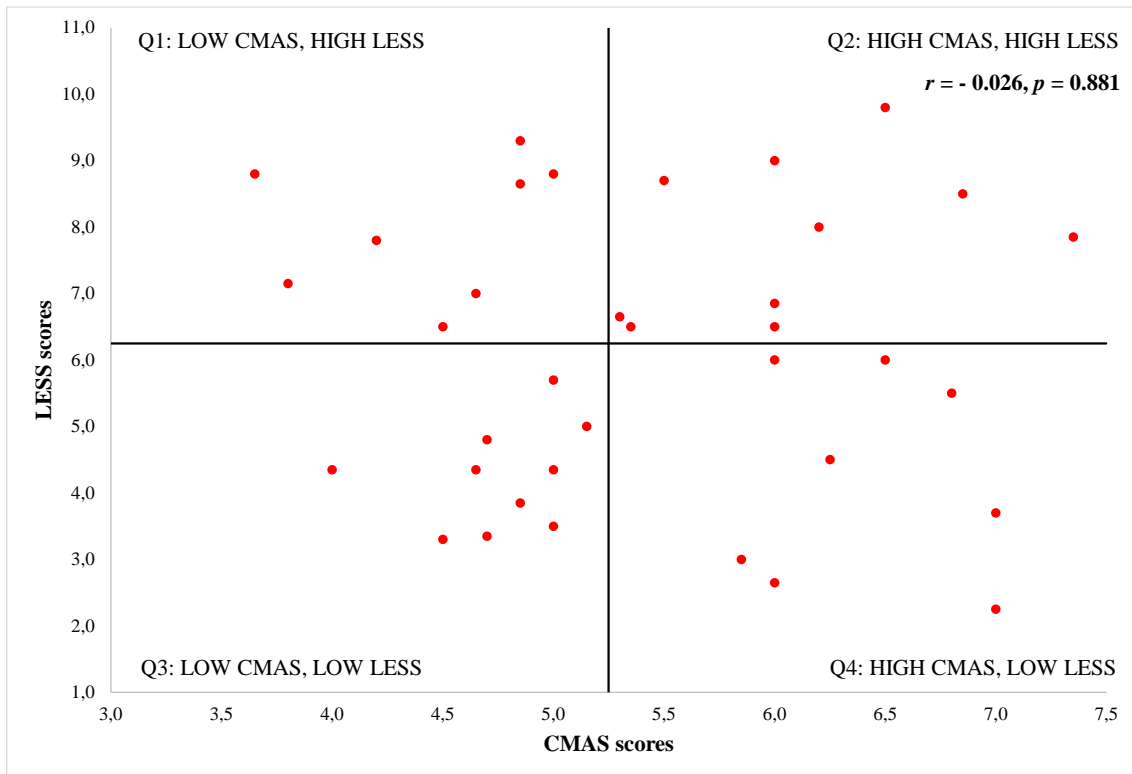
<i>r</i>	LESS 1 <sup>st</sup> ND	LESS 1 <sup>st</sup> D	LESS 1 <sup>st</sup> mean	LESS 2 <sup>nd</sup> ND	LESS 2 <sup>nd</sup> D	LESS 2 <sup>nd</sup> mean
CMAS ND	0.041	-0.158	-0.059	0.202	0.062	0.176
CMAS D	0.078	-0.009	0.036	0.076	0.016	0.078
CMAS mean	0.066	-0.119	-0.026	0.182	0.053	0.165
LESS 1 <sup>st</sup> ND	-	-	-	-0.268	-0.234	-0.298
LESS 1 <sup>st</sup> D	-	-	-	-0.266	-0.168	-0.275
LESS 1 <sup>st</sup> mean	-	-	-	-0.280	-0.214	-0.301

**Table 5**

Percentage of agreements and Kappa coefficients between risk categories (high, moderate, low) for the CMAS and LESS screening tools. CMAS = Cutting movement assessment score, LESS landing error scoring system, 1<sup>st</sup> = first landing, 2<sup>nd</sup> = second landing, ND = nondominant, D = dominant.

	% of agreement	<i>k</i>
CMAS vs LESS 1 <sup>st</sup> (ND)	36	0.04
CMAS vs LESS 1 <sup>st</sup> (D)	39	0.08
CMAS vs LESS 1 <sup>st</sup> (mean)	42	0.13
CMAS vs LESS 2 <sup>nd</sup> (ND)	50	0.25
CMAS vs LESS 2 <sup>nd</sup> (D)	32	-0.02
CMAS vs LESS 2 <sup>nd</sup> (mean)	44	0.16
LESS 1 <sup>st</sup> vs LESS 2 <sup>nd</sup> (ND)	23	-0.16
LESS 1 <sup>st</sup> vs LESS 2 <sup>nd</sup> (D)	35	0.03
LESS 1 <sup>st</sup> vs LESS 2 <sup>nd</sup> (mean)	25	-0.13

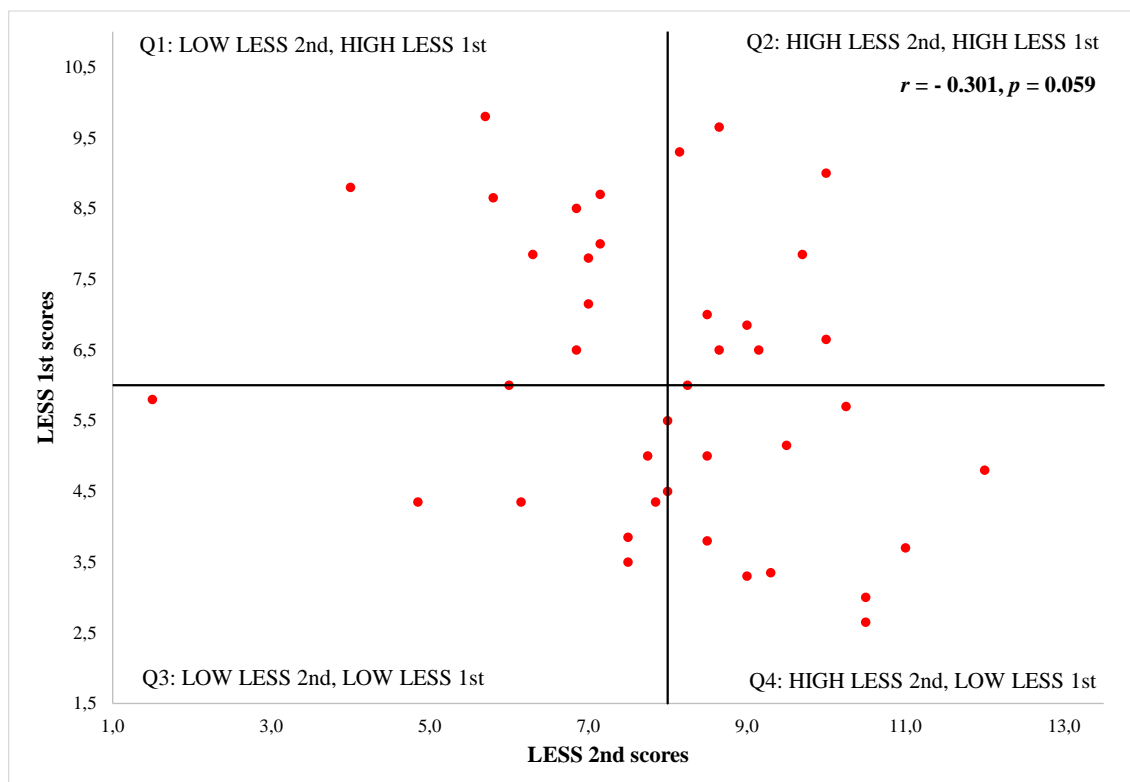




**Figure 2.** Scatter plot showing CMAS and LESS mean 1<sup>st</sup> scores relationship, divided into four quadrants (two risk profiles: high and low). Q1 = Quadrant 1: players that showed low risk in CMAS and high risk in LESS; Q2 = Quadrant 2: players that showed high risk in CMAS and high risk in LESS; Q3 = Quadrant 3: players that showed low risk in CMAS and low risk in LESS; Q4 = Quadrant 4: players that showed high risk in CMAS and low risk in LESS. CMAS: cutting movement assessment score; LESS: landing error scoring system.

### Comparison between LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scales

In LESS 2<sup>nd</sup>, participants showed a moderately higher score for both ND (6.0 vs. 7.8, ES = 0.80-0.83,  $p = 0.002$ ) and D (6.2 vs. 7.9, ES = 0.80-0.83,  $p = 0.007$ ) compared to LESS 1<sup>st</sup>. Table 5 shows the risk profile distribution for each individual item for both LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup>, with a poor agreement in all combinations. There was no significant trivial to small relationships between scores for ND, D or mean between LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> (Table 4); however, LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> means were inversely, although nonsignificant, moderately correlated ( $r = -0.30$ ,  $p = 0.059$ ). Table S1 (Supplementary Material) shows the percentage of subjects that scored a high-risk deficit (1 or 1 and 2) in each of the individual items of first and second landings. In Figure 3, a scatter plot illustrates the moderate relationship between LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scores but poor agreements.



**Figure 3.** Scatter plot showing LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> mean scores relationship, divided into four quadrants (two risk profiles: high and low). Q1 = Quadrant 1: players that showed low risk in LESS 2<sup>nd</sup> and high risk in LESS 1<sup>st</sup>; Q2 = Quadrant 2: players that showed high risk in LESS 2<sup>nd</sup> and high risk in LESS 1<sup>st</sup>; Q3 = Quadrant 3: players that showed low risk in LESS 2<sup>nd</sup> and low risk in LESS 1<sup>st</sup>; Q4 = Quadrant 4: players that showed high risk in LESS 2<sup>nd</sup> and low risk in LESS 1<sup>st</sup>. CMAS: cutting movement assessment score; LESS: landing error scoring system; 1<sup>st</sup>: first landing; 2<sup>nd</sup>: second landing.

## DISCUSSION

The primary findings of this study were (1) CMAS and LESS scores in presence of a ball as an external focus showed substantial and almost perfect INTRAob reliability, respectively, and individual items, on average, excellent percentages of agreement, while moderate to excellent INTERob reliability of CMAS and LESS was observed, respectively; (2) there was no meaningful relationship between CMAS and LESS 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> for either scores, individual items (except for knee valgus at IC), or injury risk profiles; and (3) LESS 2<sup>nd</sup> scores were moderately higher than LESS 1<sup>st</sup>. Therefore, both tools are generally reliable, but cannot be used interchangeably to evaluate potential ACL injury risk in soccer players.

For the CMAS, our data showed slightly lower INTRAob and INTERob reliability for CMAS individual items and scores compared to previous research (Dos'Santos, McBurnie, Donelon, et al., 2019), although intra-subject variability was similar in comparison to a previous research in a similar cohort of athletes (CV = 14.2 vs. 11.4-22.2%) (Dos'Santos, McBurnie, Comfort, et al., 2019). The items with the lowest agreements were the 'inwardly rotated foot position' and those related to the trunk (in

frontal and sagittal planes) (57-66%, Table 1). For the LESS score, slightly lower INTRAob (Padua et al., 2009) and INTERob reliability was observed compared to previous research (Onate et al., 2010). However, similar INTERob reliability for LESS 1<sup>st</sup> (ICC = 0.83 vs. 0.72-0.84) were obtained compared to previous research (Padua et al., 2011, 2009). The individual items with the lower agreements in LESS were ‘joint displacement’ and ‘overall impression’ (51-53%, Table 2), probably due to the multiple options to score them (3 vs. 2 in the rest of items). The slightly lower reliability measures could be attributed to the following reasons: (i) the different cohorts of athletes participating in the previous studies (none male, adult, semi-professional players) (Dos’ Santos, McBurnie, Donelon, et al., 2019; Onate et al., 2010; Padua et al., 2011, 2009); and (ii) the inclusion of a ball as an external focus, which can induce changes in jump-landing mechanics and may also affect the reproducibility of the movement (Filter et al., 2021; Mok, Bahr, & Krosshaug, 2017). For INTERob differences, our slightly lower reliability may have been influenced by the lack of expertise of observer 2 (~ 10 hours of training before extracting the data), apart from the fact that previous reliability analyses have been performed by the creators of the tools (Dos’ Santos, McBurnie, Comfort, et al., 2019; Dos’ Santos, McBurnie, Donelon, et al., 2019; Padua et al., 2015, 2009), with presumably more experience in the screening tools. However, our data suggest that both CMAS and LESS assessment with the inclusion of a ball as an external focus can provide reliable data and while improving the sports-specificity (Filter et al., 2021), although they should be preferably performed by the same observer to improve reliability of the measurements.

CMAS scores were not significantly correlated to either LESS 1<sup>st</sup> or 2<sup>nd</sup> (Table 4). Additionally, there were poor relationships between risk profiles when divided by high/low ( $\chi^2$ :  $p=0.182-1.000$ ), and poor agreement when divided by terciles (i.e. low, moderate and high) (Table 5, Figure 2). We additionally found no meaningful relationship between the presence/absence of knee valgus between the tasks. Collectively, corroborating previous 3D biomechanical investigations (Chinnasee, Weir, Sasimontokul, Alderson, & Donnelly, 2018; Cortes et al., 2011; Jones et al., 2014; Kristianslund & Krosshaug, 2013; Nedergaard, Dalbø, Petersen, Zebis, & Bencke, 2020), these findings highlight that injury risk profiles are task dependent. Furthermore, differently to previous studies conducted in more controlled, objective 3D-laboratory assessments, our results is the first to demonstrate that the independence in movement quality between tasks is still present in a soccer-specific environment with an external focus, which is known to better simulate the real situations in which ACL injuries occur. For instance, even though important elements such as the footwear (Bennett, Brock, Brosnan, Sorochan, & Zhang, 2015), the turf (Zhou, Li, & Bai, 2019) or the presence of a ball as an external focus (Filter et al., 2021) has shown the potential to influence body biomechanics and increase knee loads, they have not been included before to conduct such analyses.

DVJ and CODs have major differences that could explain these results. COD is a higher-velocity action, which consist of a unilateral, multi-planar movement, as opposed to the

predominantly single-planar, bilateral DVJ (Kristianslund & Krosshaug, 2013). Consequently, practitioners should not assume poor cutting movement quality will equate to poor jump-landing movement quality, and vice versa. Therefore, it would be prudent to include both landing and cutting tasks for a holistic overview of potential ACL injury risk when screening soccer players. As the two tasks reflect soccer ACL injury mechanisms (Della Villa et al., 2020; Waldén et al., 2016), screening landing and cutting will lead to better individualized preventative programs which can be tailored to address movement quality deficits.

Interestingly, moderately greater LESS scores were observed during the second landing of the DVJ compared to the first ( $ES=0.80-0.83$ ,  $p<0.01$ ) and, thus, appears to be a task which will identify more high-risk deficits and potential injury risk in these players. This increase is mainly due to a more rigid landing (less knee, hip and trunk flexion) and a poorer trunk control in the frontal plane (Table S1). Furthermore, players' risk profile between LESS 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> were not related (Table 4, Table 5, Figure 2). Although knee valgus motion and load in a DVJ has been proposed as a predictor of ACL injuries in female athletes (Hewett et al., 2005), some criticism has arisen in recent years against injury prediction (Bahr, 2016) and the external validity and utility of the DVJ in ACL injury screening (Cronström, Creaby, & Ageberg, 2020; Fältström, Hägglund, Hedevik, & Kvist, 2021; Krosshaug et al., 2016; Mørtvedt, Krosshaug, Bahr, & Petushek, 2020; Romero-Franco, Ortego-Mate, & Molina-Mula, 2020). If it could be argued that the DVJ simulate loading patterns of motion where ACL injuries occur, then it may be necessary to develop screening test which include movements that are more comparable to what is seen in competition (Krosshaug et al., 2016). With the inclusion of a suspended ball, our study increased sports-specificity, as an overhead target has shown to alter the jump performance and biomechanics (Fíltér et al., 2021). Another advantage of using a DVJ is that two landings can be analysed. From our data, the second landing seems to display a different, more aberrant pattern (4 out of 36 players landed with one leg, or one leg was more loaded than the other – i.e., asymmetrical), and represent different risk profiles, where movement quality may be more highly compromised (Table 5). This observation is in line with previous studies that show a different neuromuscular and biomechanical characteristics between the two DVJ landings (Bates, Ford, Myer, & Hewett, 2013b, 2013c; Whyte et al., 2017), and an increase in aberrant movement during the second (Bates, Ford, Myer, & Hewett, 2013a). Therefore, our results show that both DVJ landings should be screened in athletes for more insight into aberrant movement quality (Bates et al., 2013a) when a deeper analysis is required. However, as the second landing seem to share more commonalities with common mechanisms of ACL injury in landings (Waldén et al., 2016) and may predispose to a higher risk of injury (Bates et al., 2013a, 2013b, 2013c), it is suggested to provide more useful information when screening football players.

## CONCLUSION

In conclusion, our data suggests that CMAS and LESS with a ball as an external focus are reliable tools to evaluate the movement quality related to ACL injury risk profiling in

cutting and landing actions in adult semi-professional soccer players. Indeed, injury risk profiles are task-dependent, and the evaluation of landing movement quality cannot be generalised to cutting movement quality, and vice versa. Additionally, both the first and second landing in the DVJ could provide useful information in injury risk identification, as they show differentiated neuromuscular control discrepancies. More research is needed in larger samples, and with more ecological movements such as unanticipated cuts, single-leg landings or presence of opponents, that better simulate the mechanisms in which ACL injuries in soccer frequently occur. Table 6 provides a summary of the practical applications of the study.

**Table 6**

Summary of the practical applications from the present study. ACL = anterior cruciate ligament, CMAS = Cutting Movement Assessment Score, COD = change of direction, DVJ = drop vertical jump, LESS = Landing Error Scoring System.

<b>Inter- and intra-observer reliability of CMAS and LESS</b>	CMAS and LESS are reliable tools to evaluate movement quality during COD and DVJ, respectively, with the ball as an external focus in semi-professional soccer players. However, when being used by different members of the staff, care must be taken as the reliability is reduced when two observers perform the same assessment, especially for the CMAS. Therefore, it is suggested that, when possible, the same person conducts the qualitative screening to establish meaningful changes in performance.
<b>ACL risk profile</b>	As there is no meaningful relationship in the risk profiles between both tasks and given that cutting and landings are mechanisms of ACL injuries, COD and a jump-landing tests should be included in soccer teams ACL injury screening batteries. Practitioners are encouraged to include a ball as external focus to improve the external validity of the tests.
<b>Landings of the DVJ</b>	When using the valid and reliable CMAS and LESS tools to establish the ACL risk profile of the soccer player, both landings in the DVJ must be considered, as they have different objectives and represent different biomechanical and neuromuscular control deficiencies patterns.
<b>Utility of CMAS and LESS evaluations</b>	By performing these evaluations, practitioners could: (i) identify the individual movement quality and neuromuscular control deficits which may predispose their athletes to greater non-contact ACL injury risk, and (ii) design tailored preventative programs in order to mitigate their individual risk factors of non-contact ACL injury.

## REFERENCES

- Bahr, R. (2016). Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will.: A critical review. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(13), 776–780. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096256>
- Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013a). Impact differences in ground reaction force and center of mass between the first and second landing phases of a drop vertical jump and their implications for injury risk assessment. *Journal of Biomechanics*, *46*(7), 1237–1241. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.02.024>
- Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013b). Kinetic and kinematic differences between first and second landings of a drop vertical jump task: Implications for injury risk assessments? *Clinical Biomechanics*, *28*(4), 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.02.013>
- Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2013c). Timing differences in the generation of

- ground reaction forces between the initial and secondary landing phases of the drop vertical jump. *Clinical Biomechanics*, 28(7), 796–799. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.07.004>
- Baumgartner, T. A., & Chung, H. (2009). *Measurement in Physical Education and Exercise Science Confidence Limits for Intraclass Reliability Coefficients*. (November 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0503>
- Bennett, H. J., Brock, E., Brosnan, J. T., Sorochan, J. C., & Zhang, S. (2015). Effects of two football stud types on knee and ankle kinetics of single-leg land-cut and 180° cut movements on infilled synthetic turf. *Journal of Applied Biomechanics*, 31(5), 309–317. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0203>
- Buckthorpe, M. (2021). Recommendations for Movement Re-training After ACL Reconstruction. *Sports Medicine*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01454-5>
- Chinnasee, C., Weir, G., Sasimontonkul, S., Alderson, J., & Donnelly, C. (2018). A Biomechanical Comparison of Single-Leg Landing and Unplanned Sidestepping. *International Journal of Sports Medicine*, 39(8), 636–645. <https://doi.org/10.1055/a-0592-7422>
- Cortes, N., Onate, J., & van Lunen, B. (2011). Pivot task increases knee frontal plane loading compared with sidestep and drop-jump. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 83–92. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.523087>
- Cronström, A., Creaby, M. W., & Ageberg, E. (2020). Do knee abduction kinematics and kinetics predict future anterior cruciate ligament injury risk? A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03552-3>
- Della Villa, F., Buckthorpe, M., Grassi, A., Nabiuzzi, A., Tosarelli, F., Zaffagnini, S., & Della Villa, S. (2020). Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): Injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine*, 1–10. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>
- Della Villa, F., Häggglund, M., Della Villa, S., Ekstrand, J., & Waldén, M. (2021). High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: an updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2020-103555. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103555>
- Dos'Santos, T., McBurnie, A., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019). The Effects of Six-Weeks Change of Direction Speed and Technique Modification Training on Cutting Performance and Movement Quality in Male Youth Soccer Players. *Sports*, 7(9), 205. <https://doi.org/10.3390/sports7090205>
- Dos'Santos, T., McBurnie, A., Donelon, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019). A qualitative screening tool to identify athletes with 'high-risk' movement mechanics during cutting: The cutting movement assessment score (CMAS). *Physical Therapy in Sport*, 38, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.05.004>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., McBurnie, A., Comfort, P., & Jones, P. A. (2021). Biomechanical Determinants of Performance and Injury Risk During Cutting: A Performance-Injury Conflict? *Sports Medicine*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01448-3>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., McBurnie, A., Donelon, T., Herrington, L., & Jones, P. A. (2021). The Cutting Movement Assessment Score (CMAS) Qualitative Screening Tool: Application to Mitigate Anterior Cruciate Ligament Injury Risk during Cutting. *Biomechanics*, 1(1), 83–101. <https://doi.org/10.3390/biomechanics1010007>
- Eliakim, E., Morgulev, E., Lidor, R., & Meckel, Y. (2020). Estimation of injury costs: Financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 6(1), 1–5. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000675>
- Fältström, A., Häggglund, M., Hedevik, H., & Kvist, J. (2021). Poor Validity of Functional Performance Tests to Predict Knee Injury in Female Soccer Players With or Without Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 49(6), 1441–1450. <https://doi.org/10.1177/03635465211002541>

- Fíltér, A., Olivares Jabalera, J., Molina-Molina, A., Suárez-Arrones, L., Robles, J., Dos'Santos, T., ... Santalla, A. (2021). Effect of ball inclusion on jump performance in soccer players: a biomechanical approach. *Science and Medicine in Football*, *00(00)*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1915495>
- Fox, A. S., Bonacci, J., McLean, S. G., Spittle, M., & Saunders, N. (2016). A Systematic Evaluation of Field-Based Screening Methods for the Assessment of Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury Risk. *Sports Medicine*, *46(5)*, 715–735. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0443-3>
- Grassi, A., Tosarelli, F., Agostinone, P., Macchiarola, L., Zaffagnini, S., & Della Villa, F. (2020). Rapid Posterior Tibial Reduction After Noncontact Anterior Cruciate Ligament Rupture: Mechanism Description From a Video Analysis. *Sports Health*, *12(5)*, 462–469. <https://doi.org/10.1177/1941738120936673>
- Hägglund, M., Waldén, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H., & Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, *47(12)*, 738–742. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092215>
- Havens, K. L., & Sigward, S. M. (2015). Cutting mechanics: Relation to performance and anterior cruciate ligament injury risk. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *47(4)*, 818–824. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000470>
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., ... Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, *33(4)*, 492–501. <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>
- Hopkins, W. G. (2002). *A scale of magnitudes for effect statistics. A new view of statistics*. Retrieved from [www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html](http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html)
- Jones, P. A., Herrington, L. C., Munro, A. G., & Graham-Smith, P. (2014). Is there a relationship between landing, cutting, and pivoting tasks in terms of the characteristics of dynamic valgus? *American Journal of Sports Medicine*, *42(9)*, 2095–2102. <https://doi.org/10.1177/0363546514539446>
- Kristianslund, E., & Krosshaug, T. (2013). Comparison of drop jumps and sport-specific sidestep cutting: Implications for anterior cruciate ligament injury risk screening. *American Journal of Sports Medicine*, *41(3)*, 684–688. <https://doi.org/10.1177/0363546512472043>
- Kropmans, T. J. B., Dijkstra, R. U., Stegenga, B., Stewart, R., & De Bont, L. G. M. (1999). Smallest Detectable Difference in Outcome Variables Related to Painful Restriction of the Temporomandibular Joint. *Journal of Dental Research*, *78(3)*, 784–789. <https://doi.org/10.1177/00220345990780031101>
- Krosshaug, T., Steffen, K., Kristianslund, E., Nilstad, A., Mok, K. M., Myklebust, G., ... Bahr, R. (2016). The Vertical Drop Jump Is a Poor Screening Test for ACL Injuries in Female Elite Soccer and Handball Players. *American Journal of Sports Medicine*, *44(4)*, 874–883. <https://doi.org/10.1177/0363546515625048>
- Mok, K. M., Bahr, R., & Krosshaug, T. (2017). The effect of overhead target on the lower limb biomechanics during a vertical drop jump test in elite female athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *27(2)*, 161–166. <https://doi.org/10.1111/sms.12640>
- Mørtvedt, A. I., Krosshaug, T., Bahr, R., & Petushek, E. (2020). I spy with my little eye ... a knee about to go 'pop'? Can coaches and sports medicine professionals predict who is at greater risk of ACL rupture? *British Journal of Sports Medicine*, *54(3)*, 154–158. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100602>
- Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L., & Hewett, T. E. (2007). Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in "high-risk" versus "low-risk" athletes. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *8*, 1–7. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-8-39>
- Nedergaard, N. J., Dalbø, S., Petersen, S. V., Zebis, M. K., & Bencke, J. (2020). Biomechanical and neuromuscular comparison of single- and multi-planar jump tests and a side-cutting maneuver:

- Implications for ACL injury risk assessment. *Knee*, 27(2), 324–333.  
<https://doi.org/10.1016/j.knee.2019.10.022>
- Øiestad, B. E., Holm, I., Aune, A. K., Gunderson, R., Myklebust, G., Engebretsen, L., ... Risberg, M. A. (2010). Knee function and prevalence of knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective study with 10 to 15 years of follow-up. *American Journal of Sports Medicine*, 38(11), 2201–2210. <https://doi.org/10.1177/0363546510373876>
- Øiestad, B. E., Holm, I., Engebretsen, L., & Risberg, M. A. (2011). The association between radiographic knee osteoarthritis and knee symptoms, function and quality of life 10-15 years after anterior cruciate ligament reconstruction. *British Journal of Sports Medicine*, 45(7), 583–588.  
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.073130>
- Olivares-Jabalera, J., Fíler-Ruger, A., Dos`Santos, T., Afonso, J., Della Villa, F., Morente-Sánchez, J., ... Requena, B. (2021). Exercise-Based Training Strategies to Reduce the Incidence or Mitigate the Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injury in Adult Football (Soccer) Players: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 182, 3351.
- Onate, J., Cortes, N., Welch, C., & Van Lunen, B. (2010). Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *Journal of Sport Rehabilitation*, 19(1), 41–56.  
<https://doi.org/10.1123/jsr.19.1.41>
- Padua, D. A., Boling, M. C., DiStefano, L. J., Onate, J. A., Beutler, A. I., & Marshall, S. W. (2011). Reliability of the landing error scoring system-real time, a clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(2), 145–156. <https://doi.org/10.1123/jsr.20.2.145>
- Padua, D. A., DiStefano, L. J., Beutler, A. I., De La Motte, S. J., DiStefano, M. J., & Marshall, S. W. (2015). The landing error scoring system as a screening tool for an anterior cruciate ligament injury-prevention program in elite-youth soccer athletes. *Journal of Athletic Training*, 50(6), 589–595. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.1.10>
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The jump-ACL Study. *American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
- Powers, C. M. (2010). The Influence of Abnormal Hip Mechanics on Knee Injury: A Biomechanical Perspective. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3337>
- Romero-Franco, N., Ortego-Mate, M. del C., & Molina-Mula, J. (2020). Knee Kinematics During Landing: Is It Really a Predictor of Acute Noncontact Knee Injuries in Athletes? A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(12), 1–13.  
<https://doi.org/10.1177/2325967120966952>
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of Soccer. *Physiology of Soccer*, 35(6), 501–536.
- Tabben, M., Eirale, C., Singh, G., Al-Kuwari, A., Ekstrand, J., Chalabi, H., ... Chamari, K. (2020). Injury and illness epidemiology in professional Asian football: Lower general incidence and burden but higher ACL and hamstring injury burden compared with Europe. *British Journal of Sports Medicine*, 1–6. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102945>
- Verhagen, E., Van Dyk, N., Clark, N., & Shrier, I. (2018). Do not throw the baby out with the bathwater; Screening can identify meaningful risk factors for sports injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 52(19), 1223–1224. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098547>
- Viera, A. J., & Garret, J. M. (2005). Understanding Interobserver Agreement: The Kappa Statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360–363.
- Waldén, M., Häggglund, M., Magnusson, H., & Ekstrand, J. (2016). ACL injuries in men's professional football: A 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 744–750. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095952>



- Waldén, M., Krosshaug, T., Bjørneboe, J., Andersen, T. E., Faul, O., & Häggglund, M. (2015). Three distinct mechanisms predominate in noncontact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. *British Journal of Sports Medicine*, 49(22), 1452–1460. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094573>
- Webster, K. E. (2021). Return to Sport and Reinjury Rates in Elite Female Athletes After Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Sports Medicine*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01404-7>
- Whyte, E. F., Kennelly, P., Milton, O., Richter, C., O'Connor, S., & Moran, K. A. (2017). The effects of limb dominance and a short term, high intensity exercise protocol on both landings of the vertical drop jump: implications for the vertical drop jump as a screening tool. *Sports Biomechanics*, 3141(September), 1–13. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1371215>
- Zhou, B., Li, B., & Bai, L. (2019). The effect of the change of football turf on knee kinematics of adolescent male football players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(12), 2040–2044. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09774-3>

## SUPPLEMENTARY MATERIAL

### Procedures

After completing a standardized warm-up, consisting of 5' minutes of jogging at a self-selected pace followed by 5' of dynamic warm-up drills and sub-maximal familiarization trials with the tests, subjects performed, in a randomized order, three trials of the COD70 and DVJ. The COD70 was performed following previous guidelines (Dos'Santos et al., 2019), with a slight modifications in the set-up. Subjects were asked to sprint from the starting line at maximal velocity for 5 m, COD in the designated mark, and sprint for 5 m more towards a ball located at the end of the movement (fig. 1a). Subjects were instructed to “run as fast as possible towards the ball, performing a change of direction with the outer leg in the designated mark”. For a trial to be successful, players had to (a) COD close to the mark, so as the plant leg did not distance for more than  $\pm 1$  m, (b) not perform either a curved sprint or a crossover-cut, and (c) completing the movement fluently (i.e., without abrupt interruptions and multiple foot contacts during the main execution phase).

The DVJ was carried out in accordance with previous research (Padua et al., 2009), but with the inclusion of a suspended ball as an external reference to increase sport specificity and reflect soccer-specific jumping biomechanics as it has shown to determine jump biomechanics (i.e. decrease ground contact times and braking impulse, while increase rate of force development and maximum height reached (Fílder et al., 2021)). Subjects were required to jump from a 30-cm box to a distance of 50% of their height away from the box, land on the ground and perform a vertical jump, as high as possible, in order to try to head the ball (fig. 1b). The suspended ball was located at an individualized distance which was designated in the familiarization trials, in which they think they could head the ball. Subjects were instructed to “jump off the box with both feet, land in the imagined line between the two cones, and jump as high as possible in order to head the ball”. For a trial to be successful, players had to (a) jump off from both feet from the box, (b) perform a vertical jump after the landing, and (c) completing the movement fluently. As no standardization was present in the validation study of the LESS (Padua et al., 2009), no

additional instructions were given to the participants regarding the second landing of the DVJ to ensure it resembled as closely as possible those landings performed in competition after heading a ball. For both tasks, participants were required to perform three successful trials, in the case of COD70 with both dominant (D) and nondominant (ND) limbs. The D limb was considered as their preferred limb to perform a penalty kick. All tasks were performed on an artificial grass field with their usual training footwear.

2D video footage for all tasks (240 Hz) were collected using three iPhone 11 (iOS 14.4.1, Apple, Inc., USA) smartphones and these were mounted upon 60-cm tripods at a distance of 3 m and 5 m perpendicular to the COD70 or DVJ. For the COD70, smartphones were placed at frontal, 20 degrees from frontal, and side views (fig. 1a) in line with previous recommendations (Dos'Santos et al., 2021). For the DVJ, one camera was placed at frontal, and two at side views (fig. 1b). Movement quality video data was analysed using the CMAS and LESS tools, which have been previously validated against 3D motion capture systems (Dos'Santos et al., 2019; Padua et al., 2009). All video footage was retrospectively viewed in Kinovea (0.8.15 for Windows, Bordeaux, France) for qualitative screening. Observers were two soccer strength and conditioning coaches and researchers with academic qualifications in Sports Sciences (Master's Degree). Observer 1 (JO) possessed more than 300 hours of experience in qualitative screenings, which was considered the *gold standard* measure. Observer 2 (AF) was trained in with the tools for approximately 10 hours before performing the qualitative screening. The week after the data was collected, the observers performed the screening independently, while their scores were collated by a third researcher (TDS) for the calculation of INTERob. The scores of the second and third trials from Observer 1 were used for INTRAob analyses.

CMAS and LESS screenings were performed in line with Dos'Santos et al. (Dos'Santos et al., 2021) and Padua et al. (Padua et al., 2009), respectively. Differently to previous studies, and following the most recent CMAS recommendations from the developers (Dos'Santos et al., 2021), a 10<sup>th</sup> item was included in CMAS: rearfoot/forefoot contact. The LESS screening was used to analyse both the first (that aiming at jumping as high as possible to head the ball) and second (that aiming at landing after trying to head the ball) landings of the DVJ.

### **Statistical analyses**

All statistical analyses were performed in SPSS v 25 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel (version 2019, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). Percentage agreements (sum of agreements / total of observations \* 100) and Kappa coefficients were calculated for INTRAob and INTERob reliability of the CMAS and LESS individual items. Kappa coefficients were calculated using the formula;  $k = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)}$ , where Pr(a) = relative agreement observed between observers, and Pr(e) = hypothetical probability of chance agreement, which describes the probability of agreements between two methods when any agreement done by chance has been removed (Viera & Garret, 2005). For INTERob reliability, 101 and 94 trials were compared between the two observers for the CMAS and LESS tools, respectively, while 36 were compared for

INTRAOB reliability for both tasks for the reference observer. The Kappa coefficients was interpreted based on the following scale (Viera & Garret, 2005): poor (< 0), slight (0.01-0.20), fair (0.21-0.40), moderate (0.41-0.60), good (0.61-0.80), and excellent (0.81-1.00). Percentage agreements were interpreted in line with previous research: excellent (> 80%), moderate (51-79%), and poor (< 50%) (Dos'Santos et al., 2019; Onate, Cortes, Welch, & Van Lunen, 2010). There exists a paradox with Kappa coefficients where a high agreement could equate low Kappa in samples with asymmetrical imbalance in marginal totals (Cicchetti & Feinstein, 1990; Feinstein & Cicchetti, 1990; Viera & Garret, 2005). As some of the items are in this situation and given that Kappa coefficients are sample-specific and comparisons with other population is not suggested (Viera & Garret, 2005), a more emphasis on percentages of agreements will be posed. For INTEROB reliability of CMAS and LESS scores, paired *t* tests and intraclass correlation coefficients (ICC) between scores from two observers were conducted after data was checked for normality. Mean differences and Hedges' *g* effect sizes (ES) with 95% confidence intervals (CI) were calculated, and interpreted as trivial (< 0.19), small (0.20-0.59), moderate (0.60-1.19), large (1.20-1.99), very large (2.0-3.99), and extremely large ( $\geq 4.00$ ) (Hopkins, 2002). ICC were interpreted as follows (Koo & Li, 2016): poor (< 0.50), moderate (0.50-0.75), good (0.76-0.90), and excellent (> 0.90). For the INTRAOB reliability of CMAS and LESS scores, technical error of measurement (TEM), coefficient of variation (CV), ICC, and smallest detectable change (SDD) were calculated. CV values were considered acceptable when < 15% (Baumgartner & Chung, 2009). SDD was calculated as  $1.96 \times (\sqrt{2}) \times \text{TEM}$  (Kropmans, Dijkstra, Stegenga, Stewart, & De Bont, 1999).

For the second aim of the study, Pearson product-moment correlations between CMAS, LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scores were calculated. Pearson's *r* coefficients were classified according to the criteria defined by Hopkins et al. (Buchheit, 2016): small (0.1-0.29), moderate (0.3-0.49), large (0.5-0.69), very large (0.7-0.89), extremely large ( $\geq 0.9$ ). Percentage agreements and Kappa coefficients were calculated to establish agreements in low, moderate, and high injury risk classifications based on terciles (low, moderate, and high) between CMAS and LESS 1<sup>st</sup>, and CMAS and LESS 2<sup>nd</sup>. The  $\chi^2$  test was used to establish if there was any relationship in risk profile between CMAS and LESS 1<sup>st</sup>, and CMAS and LESS 2<sup>nd</sup>. For this analysis, the sample was split by the median value (high and low), so it was high enough to all expected cell counts in the  $\chi^2$  were greater than five. Additionally,  $\chi^2$  was also conducted to establish if there is relationship between the presence of knee valgus at initial contact in CMAS and LESS 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup>, and knee valgus at weight acceptance (WA) in CMAS and at peak knee flexion (PKF) in LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup>.

For the third aim of the study, mean differences and Hedges' *g* ES, and Pearson's *r* were conducted to establish differences and relationships, respectively, between the LESS 1<sup>st</sup> and LESS 2<sup>nd</sup> scores. Percentage agreements and Kappa coefficients was additionally calculated for analysing agreement between low, moderate, and high injury risk profiles classifications between the two landings. Furthermore, percentages of appearance of the individual items were calculated for both scales. Statistical significance was defined  $p \leq$

0.05 for all tests. As three trials were performed for each test, participants were considered to have displayed the deficits when it appeared in at least 2 of the 3 trials. For example, if participant scored 0, 0 and 1 in knee valgus at initial contact in CMAS, a ‘0’ was selected as his representative value for knee valgus at initial contact.

**Table S1**

Frequency and percentages of players scoring 1 or 2 (presence of risk factor) in the individual items of LESS scores in first and second landings. IC = initial contact.

	LESS 1 <sup>st</sup> ND (n=36)		LESS 2 <sup>nd</sup> ND (n=34)		LESS 1 <sup>st</sup> D (n=36)		LESS 2 <sup>nd</sup> D (n=31)	
	N	%	N	%	N	%	N	%
<b>Knee flexion at IC</b>	11	30.5	32	94.1	10	27.8	28	90.3
<b>Hip flexion at IC</b>	2	5.6	24	70.6	2	5.6	20	64.5
<b>Trunk flexion at IC</b>	10	27.8	30	88.2	10	27.8	27	87.1
<b>Ankle plantar flexion at IC</b>	2	5.6	1	2.9	2	5.6	0	0.0
<b>Medial knee position at IC</b>	6	16.7	3	8.8	3	8.3	4	12.9
<b>Lateral trunk flexion at IC</b>	3	8.3	14	41.2	3	8.3	12	38.7
<b>Stance width: wide</b>	6	16.7	6	17.6	9	25.0	5	16.1
<b>Stance width: narrow</b>	17	47.2	20	58.8	20	55.6	18	58.1
<b>Foot position: external rotation</b>	11	30.6	14	41.2	11	30.6	8	25.8
<b>Foot position: internal rotation</b>	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<b>Symmetric initial foot contact at IC</b>	14	38.9	5	16.1	14	38.9	5	16.1
<b>Knee-flexion displacement</b>	15	41.7	12	35.3	18	50.0	10	32.3
<b>Hip-flexion displacement</b>	4	11.1	4	11.8	5	13.9	3	9.7
<b>Trunk-flexion displacement</b>	19	52.8	29	85.3	19	52.8	26	83.9
<b>Medial-knee displacement</b>	15	41.7	4	11.8	17	47.2	11	35.5
<b>Joint displacement</b>	29	80.6	33	97.1	28	77.8	30	96.8
<b>Overall impression</b>	33	91.7	34	100.0	34	94.4	31	100.0

## REFERENCES

- Baumgartner, T. A., & Chung, H. (2009). *Measurement in Physical Education and Exercise Science Confidence Limits for Intraclass Reliability Coefficients*. (November 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1207/S15327841MPEE0503>
- Buchheit, M. (2016). Chasing the 0.2. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 11, pp. 417–418. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Cicchetti, D. V., & Feinstein, A. R. (1990). High agreement but low kappa: II. Resolving the paradoxes.

- Journal of Clinical Epidemiology*, 43(6), 551–558. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(90\)90159-M](https://doi.org/10.1016/0895-4356(90)90159-M)
- Dos'Santos, T., McBurnie, A., Donelon, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019). A qualitative screening tool to identify athletes with 'high-risk' movement mechanics during cutting: The cutting movement assessment score (CMAS). *Physical Therapy in Sport*, 38, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.05.004>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., McBurnie, A., Donelon, T., Herrington, L., & Jones, P. A. (2021). The Cutting Movement Assessment Score (CMAS) Qualitative Screening Tool: Application to Mitigate Anterior Cruciate Ligament Injury Risk during Cutting. *Biomechanics*, 1(1), 83–101. <https://doi.org/10.3390/biomechanics1010007>
- Feinstein, A. R., & Cicchetti, D. V. (1990). High agreement but low Kappa: I. the problems of two paradoxes. *Journal of Clinical Epidemiology*, 43(6), 543–549. [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(90\)90158-L](https://doi.org/10.1016/0895-4356(90)90158-L)
- Fílter, A., Olivares Jabalera, J., Molina-Molina, A., Suárez-Arrones, L., Robles, J., Dos'Santos, T., ... Santalla, A. (2021). Effect of ball inclusion on jump performance in soccer players: a biomechanical approach. *Science and Medicine in Football*, 00(00), 1–7. <https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1915495>
- Hopkins, W. G. (2002). *A scale of magnitudes for effect statistics. A new view of statistics*. Retrieved from [www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html](http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html)
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kropmans, T. J. B., Dijkstra, R. U., Stegenga, B., Stewart, R., & De Bont, L. G. M. (1999). Smallest Detectable Difference in Outcome Variables Related to Painful Restriction of the Temporomandibular Joint. *Journal of Dental Research*, 78(3), 784–789. <https://doi.org/10.1177/00220345990780031101>
- Onate, J., Cortes, N., Welch, C., & Van Lunen, B. (2010). Expert versus novice interrater reliability and criterion validity of the landing error scoring system. *Journal of Sport Rehabilitation*, 19(1), 41–56. <https://doi.org/10.1123/jsr.19.1.41>
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The jump-ACL Study. *American Journal of Sports Medicine*, 37(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
- Viera, A. J., & Garret, J. M. (2005). Understanding Interobserver Agreement: The Kappa Statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360–363.

## Artículo 4. The Safe Landing warm up technique modification programme: an effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players.

JOURNAL OF SPORTS SCIENCES  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2193451>



SPORTS MEDICINE AND BIOMECHANICS



### The *Safe Landing* warm up technique modification programme: An effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players

Jesús Olivares-Jabalera <sup>a,b,c,d</sup>, Alberto Filter <sup>b,c,e</sup>, Thomas Dos Santos <sup>b,c,e</sup>, José Ortega-Domínguez<sup>d</sup>, Víctor M. Soto Hermoso <sup>b,c</sup> and Bernardo Requena <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>HUMAN Lab, Sport and Health University Research Institute (IMUDS), Granada, Spain; <sup>b</sup>HUMAN Lab, Department of Physical Education and Sports, Faculty of Sport Sciences, University of Granada, Granada, Spain; <sup>c</sup>FSI Sport Research Lab, FSI Lab, Granada, Spain; <sup>d</sup>Centro de Estudios, Desarrollo e Investigación del Fútbol Extremeño (CEDIFEX). Federación Extremeña de Fútbol; <sup>e</sup>Department of Sport and Exercise Sciences, Musculoskeletal Science and Sports Medicine Research Centre, Manchester Metropolitan University, Manchester, UK

#### ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effectiveness of the Safe Landing (SL), a 6-week technique-modification (TM) programme, on cutting and jump-landing movement quality in football players. In a non-randomized design, 32 male semi-professional football players from two Spanish clubs participated in the study: one served as the control group (CG,  $n = 11$ ), while the other performed the SL ( $n = 15$ ). Performance and movement quality of drop vertical jump and 70° change of direction (COD70) were evaluated through 2D video footage pre- and post-intervention. In such tasks, the Landing Error Scoring System for first (LESS1) and second (LESS2) landings, and the Cutting Movement Assessment Score (CMAS) were used for assessing movement quality. Pre-to-post changes and baseline-adjusted ANCOVA were used. Medium-to-large differences between groups at post-test were shown in CMAS, LESS1 and LESS2 ( $p < 0.082$ ,  $\eta^2 = 0.137-0.272$ ), with small-to-large improvements in SL ( $p < 0.046$ ,  $ES = 0.546-1.307$ ), and CG remaining unchanged ( $p > 0.05$ ) pre-to-post. In COD70 performance, large differences were found between groups ( $p < 0.047$ ,  $\eta^2 = 0.160-0.253$ ), with SL maintaining performance ( $p > 0.05$ ,  $ES = 0.039-0.420$ ), while CG moderately decreasing performance ( $p = 0.024$ ,  $ES = 0.753$ ) pre-to-post. The SL is a feasible and effective TM program to improve movement quality and thus potential injury risk in cutting and landing, while not negatively affecting performance.

#### ARTICLE HISTORY

Received 6 August 2022  
 Accepted 15 March 2023

#### KEYWORDS

Injury risk reduction; ACL injury mechanisms; change of direction; landing

#### Introduction

Football (soccer) is a sport associated with a potentially high risk of injury, with an incidence rate of 6 injuries per 1000 h of exposure observed in male professional players (Ekstrand et al., 2021). Injuries that produce a high injury burden (e.g., ligament sprains such as anterior cruciate ligament (ACL) injuries) and, consequently, result in more missed matches and decreased match availability, are more likely to impact negatively in team performance (e.g., league positioning/success) (Häggglund et al., 2013). From the player's perspective ACL injuries are one of the most concerning injuries given its devastating consequences, such as the increased risk of developing early osteoarthritis (Øiestad et al., 2010), substantially higher ACL re-injury risk (Della Villa et al., 2021), with some athletes unable to return and compete at the same competitive level (Waldén et al., 2016).

In football, 88% of ACL injuries occur without contact (i.e., non-contact) or after indirect contact (i.e., not directly to the injured knee) with other players (Della Villa et al., 2020) and occur frequently during cutting and landing manoeuvres during match-play (Della Villa et al., 2020; Waldén et al., 2015). At the time of injury, a mechanism of ipsilateral trunk tilt and contralateral rotation, abducted hip, dynamic knee valgus, and flat and

externally rotated foot is commonly observed (Della Villa et al., 2020). These aforementioned biomechanical and neuromuscular control deficiencies, and thus poor movement quality, are associated with greater knee joint loads and mechanical loads during landing and cutting (Donelon et al., 2020) which, when greater than the ligament's tolerance threshold, can result in ACL injury. Therefore, evaluating athletes' movement quality, with the aim of identifying aberrant and potentially risky movement patterns in the field, has arisen interest through the years. Accordingly, field-based qualitative screening tools such as the Landing Error Scoring System (LESS) and the Cutting Movement Assessment Score (CMAS) have been designed to simulate jump-landing and cutting actions, respectively, whose validity and reliability has been demonstrated (Dos'santos, McBurnie, Donelon, et al., 2019; Padua et al., 2009).

Once athletes with sub-optimal movement quality and potentially risky movement patterns have been identified, individualised injury-resistance training strategies can be developed to mitigate the risk of ACL injury. In this sense, previous research show promising results of neuromuscular training programs targeting strength and landing stabilization exercises in young athletes (Petushek et al., 2019). Specifically, in football, different balance, core stability and resistance training

CONTACT Jesús Olivares-Jabalera [Jesusyolivares@gmail.com](mailto:Jesusyolivares@gmail.com) HUMAN Lab, Sport and Health University Research Institute (IMUDS), C/Menéndez Pelayo, 32, Granada 18016, Spain

Supplemental data for this article can be accessed online <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2193451>

© 2023 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la eficacia del Safe Landing (SL), un programa de 6 semanas de modificación técnica (MT), en la calidad de movimiento de cambio de dirección y salto y aterrizaje en jugadores de fútbol. En un diseño no aleatorizado, 32 futbolistas hombres semiprofesionales correspondientes a dos clubes españoles participaron en el estudio: uno sirvió como grupo control (CG, n=11), mientras que el otro realizó el SL (n=15). Previa y posteriormente a la intervención, se evaluó el rendimiento y la calidad del movimiento de un drop jump y de un cambio de dirección de 70 grados (COD70) de los jugadores. Para el análisis de calidad de movimiento se utilizaron el Landing Error Scoring System para el primer (LESS1) y el segundo (LESS2) aterrizaje del drop jump, y el Cutting Movement Assessment Score (CMAS) para el COD70. Se calcularon cambios pre-post y se realizó un análisis de la covariable (ANCOVA) ajustado a los valores del pretest para identificar diferencias entre grupos. Se observaron diferencias de moderadas a grandes entre grupos en el posttest en el CMAS, LESS y LESS2 ( $p < 0.082$ ,  $\eta^2 = 0.137-0.272$ ), con mejoras de pequeñas a grandes en el grupo SL ( $p < 0.046$ ,  $ES = 0.546-1.307$ ), y manteniéndose invariables en el CG ( $p > 0.05$ ) en el post respecto al pre. En el rendimiento del COD70 se hallaron diferencias grandes entre grupos, manteniéndose sin modificaciones en el SL ( $p > 0.05$ ,  $ES = 0.039-0.420$ ), mientras que este decreció moderadamente en el CG ( $p = 0.024$ ,  $ES = 0.753$ ) en el post. El SL es un programa de MT efectivo para mejorar la calidad de movimiento de saltos, aterrizajes y cambios de dirección, potencialmente reduciendo el riesgo de lesión y sin afectar negativamente al rendimiento de dichas acciones.

**Palabras clave:** reducción del riesgo de lesión, mecanismos de lesión de LCA, cambio de dirección, aterrizaje.

## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effectiveness of the Safe Landing (SL), a 6-week technique-modification (TM) programme, on cutting and jump-landing movement quality in football players. In a non-randomized design, 32 male semi-professional football players from two Spanish clubs participated in the study: one served as the control group (CG, n=11), while the other performed the SL (n=15). Performance and movement quality of drop vertical jump and 70° change of direction (COD70) were evaluated through 2D video footage pre- and post-intervention. In such tasks, the Landing Error Scoring System for first (LESS1) and second (LESS2) landings, and the Cutting Movement Assessment Score (CMAS) were used for assessing movement quality. Pre-to-post changes and baseline-adjusted ANCOVA were used. Medium-to-large differences between groups at post-test were shown in CMAS, LESS1 and LESS2 ( $p < 0.082$ ,  $\eta^2 = 0.137-0.272$ ), with small-to-large improvements in SL ( $p < 0.046$ ,  $ES = 0.546-1.307$ ), and CG remaining unchanged ( $p > 0.05$ ) pre-to-post. In COD70 performance, large differences were found between groups ( $p < 0.047$ ,  $\eta^2 = 0.160-0.253$ ), with SL maintaining performance ( $p > 0.05$ ,  $ES = 0.039-0.420$ ), while CG moderately

decreasing performance ( $p=0.024$ ,  $ES=0.753$ ) pre-to-post. The SL is a feasible and effective TM program to improve movement quality and thus potential injury risk in cutting and landing, while not negatively affecting performance.

**Keywords:** injury risk reduction, ACL injury mechanisms, change of direction, landing.

## INTRODUCTION

Football (soccer) is a sport associated with a potentially high risk of injury, with an incidence rate of 6 injuries per 1000 hours of exposure observed in male professional players (1). Injuries that produce in a high injury burden (e.g. ligament sprains such as anterior cruciate ligament (ACL) injuries) and, consequently, result in more missed matches and decreased match availability, are more likely to impact negatively in team performance (e.g., league positioning / success) (2). From the player's perspective ACL injuries are one of the most concerning injuries given its devastating consequences, such as the increased risk of developing early osteoarthritis (3), substantially higher ACL re-injury risk (4), with some athletes unable to return and compete at the same competitive level (5).

In football, 88% of ACL injuries occur without contact (i.e., non-contact) or after indirect contact (i.e. not directly to the injured knee) with other players (6), and occur frequently during cutting and landing manoeuvres during match-play (6,7). At the time of injury, a mechanism of ipsilateral trunk tilt and contralateral rotation, abducted hip, dynamic knee valgus, and flat and externally rotated foot is commonly observed (6). These aforementioned biomechanical and neuromuscular control deficiencies, and thus poor movement quality, are associated with greater knee joint loads and mechanical loads during landing and cutting (8) which, when greater than the ligament's tolerance threshold, can result in ACL injury. Therefore, evaluating athletes' movement quality, with the aim of identifying aberrant and potentially risky movement patterns in the field has arisen interest through the years. Accordingly, field-based qualitative screening tools such as the Landing Error Scoring System (LESS) and the Cutting Movement Assessment Score (CMAS) have been designed to simulate jump-landing and cutting actions, respectively, whose validity and reliability has been demonstrated (9,10).

Once athletes with sub-optimal movement quality and potentially risky movement patterns have been identified, individualised injury-resistance training strategies can be developed to mitigate the risk of ACL injury. In this sense, previous research show promising results of neuromuscular training programs targeting strength and landing stabilization exercises in young athletes (11). Specifically, in football, different balance, core stability and resistance training interventions have shown to be effective at reducing some ACL risk factors associated with a higher risk of ACL injury, although with several limitations (12). For instance, some previous interventions were time consuming and required sophisticated equipment (i.e. isokinetic machines) which could be difficult to implement in the field. Furthermore, most of the previous ACL injuries prevention studies



in football failed to report reliability measures, smallest worthwhile changes, level of the supervisor and compliance rate, which prevent them to accurately rise conclusions regarding their effectiveness (12). However, given that common mechanisms of ACL injuries are known (6,13), and movement quality and neuromuscular control deficits can directly influence knee mechanical loads and potential injury risk, it seems reasonable to develop strategies to improve the quality of movement in these risky actions. For example, promising results of technique modification (TM) programs to improve cutting and landing mechanics in other athletes (14,15). To date there is only one study evaluating the effectiveness of a TM intervention on movement quality, carried out in football players (16), although this was limited to youth soccer players.

Football is a complex sport whose determinants of performance are composed by a myriad of factors which need to be properly trained (17). Thus, to increase adherence and athlete and coach “buy-in”, any injury mitigation programme should be cost- and time-effective, thus, developing training methods shorter than 10 minutes (i.e. easy to implement in the warm-up part) might be of interest to practitioners. Additionally, to be well received by coaches and athletes, injury mitigation programmes must be effective at mitigating risk factors of ACL injury but not at the expense of performance (18); this has recently been described as the performance-injury risk conflict (19). Therefore, the aim of the study was to evaluate the effectiveness of the *Safe Landing 6-week warm-up technique modification intervention*, on landing and cutting movement quality in adult semi-professional football players. It was hypothesised that the SL TM intervention would result in improved landing and cutting movement quality without negatively affecting performance in comparison to a CG.

## METHODS

### **Experimental approach to the problem**

A nonrandomized design was used to test the effectiveness of a 6-week *Safe Landing* intervention to improve movement quality in ACL injury mechanisms. Using a repeated measures pre-to-post design. Two semi-professional football teams agreed to participate: one as control group (CG) and the other as intervention group (IG), assigned by convenience. The study was carried out in the middle of the competitive season, from January to March of 2021. The total duration of the study was 8 weeks. The first and last weeks were used for pre-assessments (PRE) and post-assessment (POST), respectively, while the intervention was conducted from the 2nd to the 7th week (6 weeks) (Figure 1). Movement quality evaluations consisted of the execution of a drop vertical jump (DJ) and a pre-planned 70 degrees change of direction (COD70). In both tasks, the ball was used as an external reference to increase sports specificity and cognitive loading. Both PRE and POST evaluations were performed on Tuesday (MD+3), to ensure a sufficient recovery period from the previous match. During the interventions, the IG performed a TM-based intervention (i.e., *Safe Landing*), while the CG performed their regular warm-up.

WEEK 1		WEEK 2 to 7		WEEK 8	
Pre-test		IG		Post-test	
COD70	DJ	Safe Landing : landing, plyometrics and COD TM training with feedback with external focus, in the warm-up, 3 sessions/week		COD70	DJ
CMAS	LESS			CMAS	LESS
GCT	DVJ JH	CG		GCT	DVJ JH
GCT ASY	DVJ RSI	Regular field-based warm-up consisting of self-selected running, warm-up dynamic exercises and rondo (~20')		GCT ASY	DVJ RSI
IG = 17	CG = 15			IG = 15	CG = 11

*There were 6 dropouts (2 in the IG, 4 in the CG) due to injury/illnesses, that were unable to conduct the interventions as well as conducting the post-test assessments*

**Figure 1.** Study design and flow diagram of the participation of the players at all the stages. COD70 = 70° change of direction; DJ = drop jump; CMAS = Cutting Movement Assessment Score; LESS = Landing Error Scoring System; GCT = ground contact time; JH = jump height; ASY = asymmetry; RSI = Reactive Strength Index; IG = intervention group; CG = control group; TM = technique modification.

### Subjects

Thirty-two adult, male semi-professional football players agreed to participate in the study. They were recruited from two football teams competing in the 3rd Spanish Division league. By convenience (nonrandomized process), 15 players of the first team served as the IG (age: 25.5±4.0 years; body mass: 74.7±7.0 kg; height: 1.80±0.07 m), while 11 of the second team served as CG (age: 24.3±4.9 years; body mass: 74.3±7.4 kg; height: 1.78±0.08 m). No additional resistance training programs were performed in any team during the length of the study. To be included in the study, players had to be free of injury at the beginning of the study, not having suffered any severe knee injury in the two previous years, train at least four times a week, and possess more than 10 years of experience in football. Only outfield players were recruited for the study. All participants were informed about the risk and benefits of taking part in the study. Furthermore, they signed an informed consent prior to the data collection was carried out. The study design was approved by the Local Ethics Committee and conformed to the policy statement with respect to the Declaration of Helsinki. Initially, there were 15 and 17 players in the CG and IG, respectively. However, 6 participants (CG=4, IG=2) dropped out and were unable to performed POST, all of them due to injury unrelated to the training intervention. The study was performed in the middle of the competitive season to ensure that no large physical changes occurred as a result of the conditioning state (16).

### Procedures

Both PRE and POST evaluations were carried out on Tuesday, after 48-72h of their last match (MD+3), following the same procedures, and after performing a standardized warm-up consisting of five minutes of running at a self-selected pace, followed by five minutes of dynamic warm-up drills and several sub-maximal familiarisation trials with the tests. Participants performed, in a randomized order, three trials of a COD70 with both left and right limbs, and three trials of a DJ. The COD70 and DJ were performed following previous guidelines (9,10), although with some modifications in the set-up (Fig. 1 in Olivares Jabalera et al., 2022 (20)). In the case of COD70, participants were required to execute three successful trials with both dominant (D) and nondominant (ND) limbs.

At least 2-minute rest periods were required between trials, although could be longer if necessary. The D limb was considered that preferred to kick the ball during a penalty kick. Three iPhone 11 (iOS 14.4.1, Apple. Inc., USA) were located upon 60-cm tripods at a distance of 3 and 5 m from the cutting or jumping in which the main movement was performed, recording at a sampling rate of 240 Hz. Once the whole protocol was performed and recorded, all video footage was viewed in Kinovea (0.8.15 for Windows, Bordeaux, France), in which the qualitative and quantitative screenings were analysed.

Movement quality data were analysed using the CMAS for the COD70, and LESS for the DJ. CMAS and LESS were performed in line with their validation studies (9,10), graded by the lead researcher, which was highly experienced in both tools (i.e. with more than 120h), and with a slight modification in the CMAS following the most recent recommendations of this tool (21). These tools have shown substantial to almost perfect intra-rater reliability to evaluate movement quality of semi-professional football players (20). The first and second landings (i.e. LESS1 and LESS2, respectively) of the DJ were analysed using the same 17-item LESS tool, as previously reported (20). Both landings were included in the evaluation because they show differentiated neuromuscular control discrepancies and, hence, they provide useful information in injury risk identification (20,22). Both CMAS and LESS provide a total score, in which higher scores were representative of poorer movement quality, and have been previously validated against 3D motion capture systems with respect to biomechanical ACL injury risk factors (10,21).

Performance data was additionally obtained for both COD70 and DJ. In the case of COD70, the variable considered for evaluating performance was the contact time of the foot executing the COD70 with the ground (i.e. ground contact time (GCT) from touch down to toe-off frames). Ground contact time has been identified as a determinant and key performance indicator of COD ability (19). GCT's asymmetry between D and ND limbs, expressed as a percentage difference, was further calculated, using the formula proposed by Bishop et al. (23) for unilateral tests:

$$\% \text{ asymmetry} = 100 / (\text{maximal value} \times \text{minimum value}) \times (-1) + 100$$

In the case of DJ, jump height (JH) and the reactive strength index (RSI) were the variables selected to determine performance. The JH of the DJ was calculated by identifying the take-off and landing frames of the video, and then transforming flight time data into JH using the following formula (24):  $h = t^2 \times 1.22625$ , with  $h$  being the JH in metres, and  $t$  being the flight time in seconds. The RSI was calculated by dividing the JH by the GCT (25) as a representative measure of the athlete's ability to utilize the stretch-shortening cycle (SSC).

*Safe Landing.* The *Safe Landing* is a 6-week TM-based intervention designed to improve jump-landing and cutting movement quality; two main mechanisms of ACL injury. In Table S1 in Supplementary Material, a full description of the intervention of the exercises and their progressions is provided. Briefly, the intervention consisted of a mixed of jump-landing, plyometrics and COD exercises, with a specific focus on the feedback provided, given the promising results shown by these two components in mitigating risk factors of

ACL injury (26), and designed to be performed as part of the warm-up. As the *Safe Landing* was intended to be easily implemented in any football team, regardless its level or equipment available, volume remained constant through the program, while complexity of the exercises was increased, according to previous suggested progressions (14), and being adapted to the context of a football team. The number of jumps and CODs per session was 30 and between 20 and 30, respectively (Table S1 in Supplementary Material). Regarding its intensity, maximal intensity was required for each exercise, as long as the movement quality was not comprised. The main strengths of the programme were: [1] no equipment is required and is easily integrated into field-based warm-ups prior to technical or tactical sessions, [2] it takes only ~ 9 minutes per session, performed three times a week, and [3] the simplicity of the progressions, which does not require time-consuming explanations or demonstrations. The sessions were led by a strength and conditioning coach with academic qualifications in Sport Sciences (Master’s Degree) and more than 6 years of experience coaching in football teams. A critical component of the intervention was the quality of the feedback provided individually to the players, which was led by using mainly external coaching cues as it has shown superior effects than internal cues (27), and using strategies as implicit learning. In Table 1, the coaching cues used for correcting movement patterns in both jump-landing and plyometric and COD exercises are presented in line with previous suggestions (28). During the 6 week-period sessions in which the IG performed the *Safe Landing* as a part of the warm-up, the CG executed their regular warm-up (Figure 1). Before executing the *Safe Landing*, the IG performed ~ 10 min of jogging at a self-selected pace, and warm-up dynamic drills, being the duration of the full warm-up in both groups around 20 min in duration.

**Table 1.** Verbal cues given to the players to promote safe mechanics while maximising performance.

Verbal coaching cue	Cue’s objective
<i>For the jump-landing and plyometrics training exercises</i>	
“Try to maintain alignment, thinking that your body is unable to bend laterally”	To promote proper full-body alignment
“At landing, try to minimise the sound of the ground” “Imagine you are a feather falling to the ground”	To promote soft landings
“After landing, jump again whipping to the ground” “Imagine that the ground is hot lava”	To promote pre-activation of muscles for a reactive foot support
“Push the ground to travel as far as possible from them” “Jump as high as you can to try to head a ball”	To promote maximum intensity
<i>For the change of direction training exercises</i>	
“Slam on the brakes – early” “Imagine in the last foot contact that the ground is hot lava”	To promote penultimate foot contact braking and reduce final foot contact force demands

“Try to maintain alignment, thinking that your body is unable to bend”	To promote proper full-body alignment
“Lean/face/look toward the ball or objective that determines the direction of travel”	To promote proper orientation towards the new intended direction of travel
“Push yourself as hard and fast as possible off the ground”	To promote maximum intensity
“Attack the ground”	

## Statistical analyses

All statistical analyses were performed in SPSS v 25 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) and Microsoft Excel (version 2019, Microsoft Corp., Redmond, WA, USA). An intention-to-threat approach was conducted for the analysis of the data of interest.

Within session reliability was calculated for each group and session for the outcome variables, using Intraclass correlation coefficients (ICC), coefficient of variation (CV), and standard error of measurement (SEM). The CV, SEM and smallest detectable difference (SDD) was calculated in line with similar research (16). ICCs were interpreted as followed (29): poor (<0.50), moderate (0.50–0.75), good (0.75–0.90), and excellent (>0.90). Minimum acceptable reliability was determined with an ICC >0.7 and CV < 15% (30).

Descriptive data are reported as mean values and SDs. Normality was inspected through a Shapiro-Wilk test. An analysis of covariance (ANCOVA) for each of the primary outcomes (dependent variables), with group as comparator (IG and CG) and baseline data (pre-test values from such variables) as a covariate, was conducted for POST data as suggested for clinical research (31). Equality of variances was checked with the Levene’s test. Partial eta squared effect sizes were calculated from ANCOVA and its values were considered as follows: small: 0.010–0.059, medium: 0.060–0.149, and large:  $\geq 0.150$  (32).

PRE to POST changes in primary outcomes for each group were assessed using paired-sample *t*-tests for parametric data and Wilcoxon-sign ranked tests for non-parametric data. Hedges’ *g* effect sizes and mean change with 95% confidence intervals (CI) were used for assessing magnitude of differences. Hedges’ *g* effect sizes were calculated as described previously (33) and interpreted as trivial ( $\leq 0.19$ ), small (0.20–0.59), moderate (0.60–1.19), large (1.20–1.99), very large (2.0–3.99), and extremely large ( $\geq 4.00$ ) (34). The average of the three trials were used for further analyses. Statistical significance was defined  $p \leq 0.05$  for all tests.

## RESULTS

### Reliability and pre-to-post changes

Within session reliability data for the outcome variables in CG and IG for both PRE and POST are presented in Table 2 and Table 3, respectively. The lowest CV values were presented for the variables COD GCT (CV<9%) and DJ JH (CV<5%) in both time-point assessments. Regarding ICC, the highest values were found for the variables COD GCT, CMAS ND, DJ JH and LESS1 ND, with all values being >0.75 except for COD GCT in the CG at post-test (ICC=0.527-0.665).

**Table 2.** Reliability of the selected variables at pre-test for CG and IG.

	Group	Variable	ICC	LL	UL	SEM	LL	UL	CV (%)	LL	UL
COD performance	IG	COD GCT ND	0.865	0.645	0.952	0.010	0.007	0.016	5.4	4.0	8.5
	IG	COD GCT D	0.848	0.606	0.946	0.012	0.008	0.018	6.1	4.5	9.6
	CG	COD GCT ND	0.682	0.175	0.903	0.017	0.012	0.029	8.2	5.7	14.4
	CG	COD GCT D	0.790	0.393	0.939	0.014	0.010	0.025	7.2	5.0	12.6
COD m. quality	IG	CMAS ND	0.899	0.726	0.965	0.526	0.385	0.829	10.0	7.3	15.7
	IG	CMAS D	0.165	-0.362	0.612	1.017	0.744	1.603	17.4	12.8	27.5
	CG	CMAS ND	0.760	0.328	0.929	0.899	0.628	1.579	16.4	11.4	28.7
	CG	CMAS D	0.323	-0.311	0.758	0.858	0.600	1.506	16.4	11.5	28.8
DJ Performance	IG	DJ JH	0.948	0.852	0.982	1.144	0.837	1.804	2.5	1.8	3.9
	IG	DJ RSI	0.292	-0.240	0.689	0.348	0.255	0.549	22.0	16.1	34.7
	CG	DJ JH	0.942	0.801	0.984	1.767	1.235	3.101	4.1	2.8	7.1
	CG	DJ RSI	0.746	0.298	0.925	0.236	0.165	0.414	21.8	15.3	38.3
DJ m. quality	IG	LESS1 ND	0.965	0.898	0.988	0.420	0.307	0.662	5.8	4.2	9.2
	IG	LESS1 D	0.833	0.574	0.941	0.796	0.583	1.255	10.6	7.7	16.7
	IG	LESS2 ND	0.048	-0.543	0.607	1.558	1.089	2.734	20.6	14.4	36.2
	IG	LESS2 D	0.470	-0.145	0.823	1.176	0.821	2.063	15.1	10.6	26.5
	CG	LESS1 ND	0.915	0.718	0.977	0.661	0.462	1.159	14.2	10.0	25.0
	CG	LESS1 D	0.944	0.807	0.985	0.654	0.457	1.147	12.3	8.6	21.6
	CG	LESS2 ND	0.848	0.118	0.983	1.118	0.670	3.213	14.3	8.6	41.2
	CG	LESS2 D	0.960	0.640	1.000	0.913	0.517	3.404	11.4	6.5	42.5

Key: ICC = intraclass correlation coefficient; LL = lower limit; UL = upper limit; SEM = standard error of measurement; CV = coefficient of variation; IG = intervention group; CG = control group; COD = change of direction; GCT = ground contact time; ND = non-dominant leg; D = dominant leg; ASY = asymmetry between legs; CMAS = Cutting Movement Assessment Score; DJ = drop jump; JH = jump height; RSI = Reactive Strength Index; LESS1 = Landing Error Scoring System, first landing; LESS2 = Landing Error Scoring System, second landing.

**Table 3.** Reliability of the selected variables at post-test for CG and IG.

	Group	Variable	ICC	LL	UL	SEM	LL	UL	CV (%)	LL	UL
COD	IG	COD GCT ND	0.863	0.640	0.952	0.012	0.009	0.019	6.4	4.8	10.1
	IG	COD GCT D	0.850	0.611	0.947	0.011	0.008	0.018	6.2	4.5	9.7
	CG	COD GCT ND	0.665	0.145	0.897	0.014	0.010	0.024	6.4	4.5	11.3
	CG	COD GCT D	0.527	-0.070	0.846	0.015	0.010	0.026	7.2	5.0	12.7
COD m.	IG	CMAS ND	0.750	0.402	0.908	0.730	0.535	1.152	16.2	11.9	25.6
	IG	CMAS D	0.754	0.411	0.910	0.644	0.471	1.015	14.4	10.6	22.7
	CG	CMAS ND	0.901	0.676	0.972	0.531	0.371	0.932	9.6	6.7	16.8
	CG	CMAS D	0.556	-0.030	0.857	1.132	0.791	1.987	21.5	15.0	37.7
DJ	IG	DJ JH	0.977	0.929	0.992	0.904	0.655	1.456	2.0	1.4	3.1
	IG	DJ RSI	0.938	0.818	0.980	0.084	0.061	0.136	5.5	4.0	8.8
	CG	DJ JH	0.978	0.922	0.994	0.910	0.636	1.598	2.1	1.5	3.7

	<b>CG</b>	DJ RSI	0.904	0.686	0.973	0.087	0.061	0.153	8.3	5.8	14.5
<b>DJ m. quality</b>	<b>IG</b>	LESS1 ND	0.863	0.640	0.952	0.886	0.649	1.398	16.0	11.7	25.3
	<b>IG</b>	LESS1 D	0.765	0.433	0.915	1.117	0.818	1.762	19.8	14.5	31.3
	<b>IG</b>	LESS2 ND	0.746	0.328	0.920	1.022	0.724	1.736	13.4	9.6	22.9
	<b>IG</b>	LESS2 D	0.774	0.386	0.929	1.284	0.909	2.179	17.0	12.1	28.9
	<b>CG</b>	LESS1 ND	0.683	0.177	0.904	1.561	1.091	2.739	31.5	22.0	55.3
	<b>CG</b>	LESS1 D	0.866	0.579	0.962	1.144	0.799	2.008	22.1	15.4	38.7
	<b>CG</b>	LESS2 ND	0.402	-0.506	0.887	1.638	1.023	4.018	20.7	12.9	50.7
	<b>CG</b>	LESS2 D	0.579	-0.311	0.928	1.983	1.238	4.864	24.8	15.5	60.8

The pre-to-post change of variables is displayed in Table 4. In the CG, the only statistically significant pre-to-post change was the moderate decrease in COD GCT ND ( $p=0.024$ ,  $ES=0.753$ ). In the IG, there was a moderate and large improvement in CMAS with both ND ( $p=0.046$ ,  $ES=0.546$ ) and D ( $p<0.001$ ,  $ES=1.220$ ), respectively. Additionally, LESS1 and LESS2 were moderately to largely improved from PRE to POST ( $p\leq 0.30$ ,  $ES=0.602-1.307$ ) except for LESS2 ND in which the improvement was small ( $p=0.046$ ,  $ES=0.546$ ). All the pre-to-post changes of variables were above the SDD. In fact, the ratio between the mean differences and the SDD were in the range of 2.0-7.3 for these variables (Table 4).

**Table 4.** Pre-to-post changes in both CG and IG.

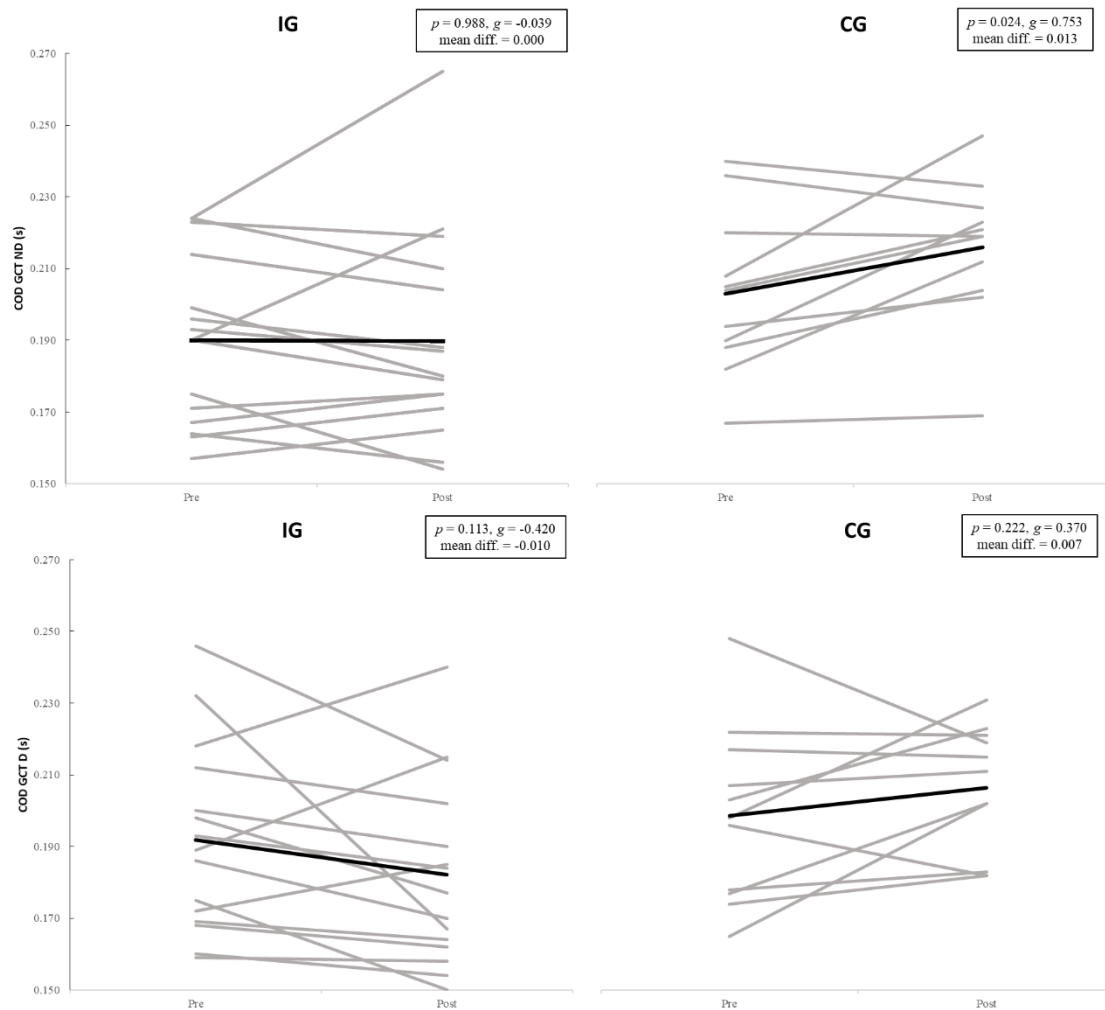
	Group	Variable	Pre		Post		p	Hedges'g ES		Mean diff.	SDD	Ratio to SDD	Individual responders (Positive, non, negative)
			Mean	SD	Mean	SD		g	± CI				
COD performance	IG	COD GCT ND	0.190	0.023	0.190	0.029	0.988	-0.039	0.716	0.000	0.005	0.0	(9,0,6)
	IG	COD GCT D	0.192	0.026	0.182	0.026	0.113	-0.420	0.724	-0.010	0.005	1.9	(12,0,3)
	IG	COD GCT ASY	7.093	5.415	7.687	6.981	0.825	0.056	0.716	0.594	1.083	0.5	(8,0,7)
	CG	COD GCT ND	0.203	0.022	0.216	0.020	0.024*	0.753	0.868	0.013	0.004	2.9	(3,0,9)
	CG	COD GCT D	0.199	0.025	0.206	0.018	0.222	0.370	0.844	0.007	0.005	1.4	(4,0,8)
	CG	COD GCT ASY	7.527	4.692	8.982	8.546	0.679	0.121	0.837	1.455	0.938	1.6	(5,0,7)
COD m. quality	IG	CMAS ND	5.213	1.455	4.500	1.282	0.046*	-0.546	0.730	-0.713	0.291	2.5	(10,1,4)
	IG	CMAS D	5.733	0.872	4.467	1.141	<0.001***	-1.220	0.784	-1.266	0.174	7.3	(13,1,1)
	CG	CMAS ND	5.209	1.441	5.545	1.457	0.264	0.335	0.842	0.336	0.288	1.2	(3,1,8)
	CG	CMAS D	5.000	0.674	5.273	1.403	0.525	0.188	0.838	0.273	0.135	2.0	(4,2,6)
DJ performance	IG	DJ JH	46.187	4.671	45.754	5.585	0.530	-0.160	0.717	-0.433	0.934	0.5	(8,0,7,)
	IG	DJ RSI	1.602	0.344	1.521	0.304	0.205	-0.331	0.721	-0.081	0.069	1.2	(6,0,9)
	CG	DJ JH	43.075	6.564	43.270	5.372	0.876	0.045	0.836	0.195	1.313	0.1	(8,0,4)
	CG	DJ RSI	1.094	0.363	1.054	0.244	0.634	-0.139	0.837	-0.040	0.073	0.6	(4,0,8)
DJ m.quality	IG	LESS1 ND	7.127	1.985	5.533	2.142	0.002**	-0.965	0.759	-1.594	0.397	4.0	(13,1,1)
	IG	LESS1 D	7.467	1.720	5.633	2.031	<0.001***	-1.307	0.793	-1.834	0.344	5.3	(14,0,1)
	IG	LESS2 ND	8.107	1.772	7.400	1.606	0.046*	-0.546	0.730	-0.707	0.354	2.0	(10,2,3)
	IG	LESS2 D	7.993	1.593	7.300	2.170	0.030*	-0.602	0.733	-0.693	0.319	2.2	(11,0,4)
	CG	LESS1 ND	4.691	2.147	4.955	2.339	0.325	0.294	0.841	0.264	0.429	0.6	(4,1,7)
	CG	LESS1 D	5.273	2.402	5.182	2.695	0.781	-0.081	0.836	-0.091	0.480	0.2	(7,0,5)
	CG	LESS2 ND	7.489	2.201	8.167	1.820	0.415	0.263	0.928	0.678	0.440	1.5	(4,2,6)
	CG	LESS2 D	7.743	2.060	8.429	2.652	0.456	0.256	1.053	0.686	0.412	1.7	(3,4,5)
Key: SDD = smallest detectable difference; IG = intervention group; CG = control group; COD = change of direction; GCT = ground contact time; ND = non-dominant leg; D = dominant leg; ASY = asymmetry between legs; CMAS = Cutting Movement Assessment Score; DJ = drop jump; JH = jump height; RSI = Reactive Strength Index; LESS1 = Landing Error Scoring System, first landing; LESS2 = Landing Error Scoring System, second landing.													



## Between-group differences

### *COD and DJ performance*

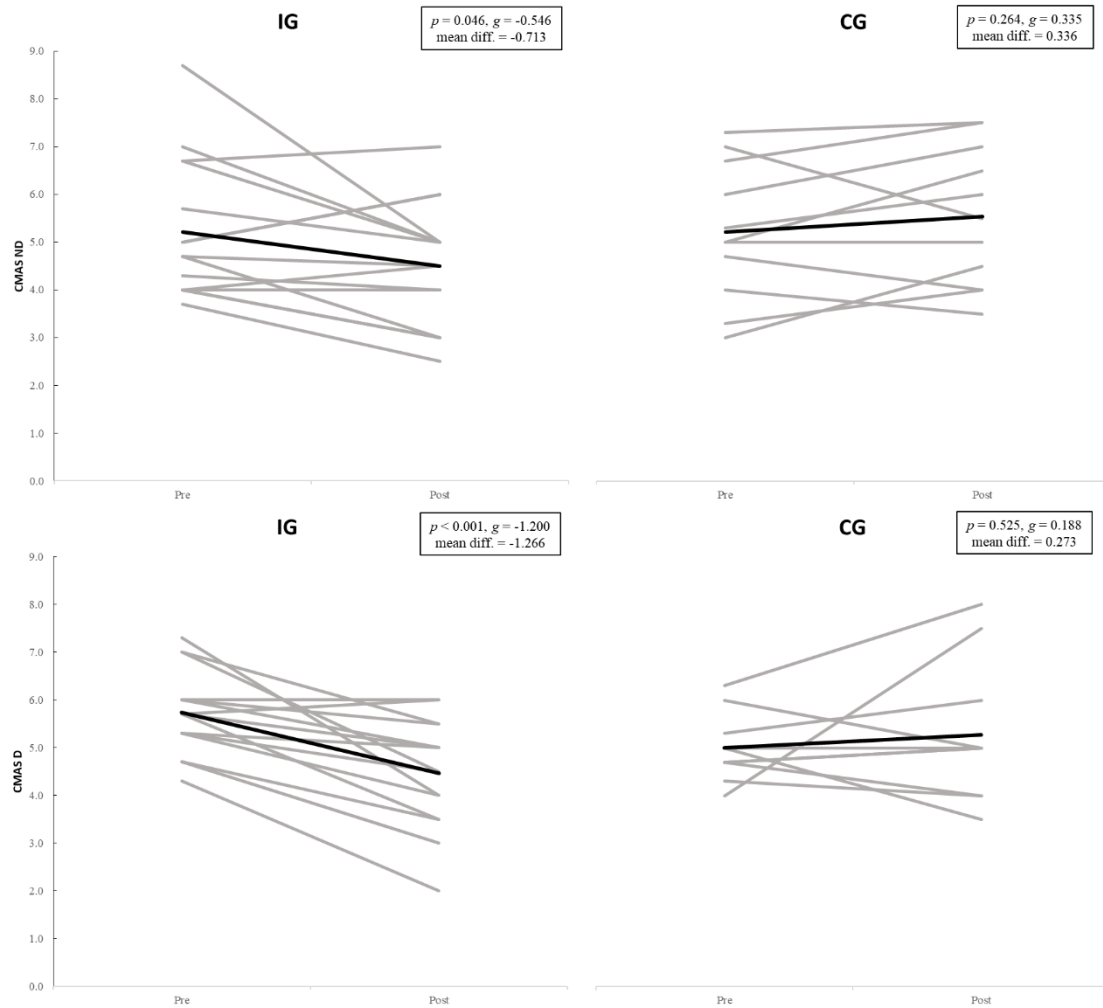
Large and significant differences were found between IG and CG in COD GCT in both ND ( $p=0.047$ ,  $\eta^2 = 0.160$ ) and D ( $p=0.010$ ,  $\eta^2 = 0.253$ ). In the IG, COD GCT ND and D were unchanged from PRE to POST, while the CG decreased in COD GCT ND (Table 4, Figure 2). There were no differences between groups for COD ASY, DJ JH or DJ RSI ( $p=0.596-0.967$ ). These variables remained unchanged in both groups from PRE to POST ( $p=0.056-0.876$ , Table 4 and Figures S1 and S2 in Supplementary Material).



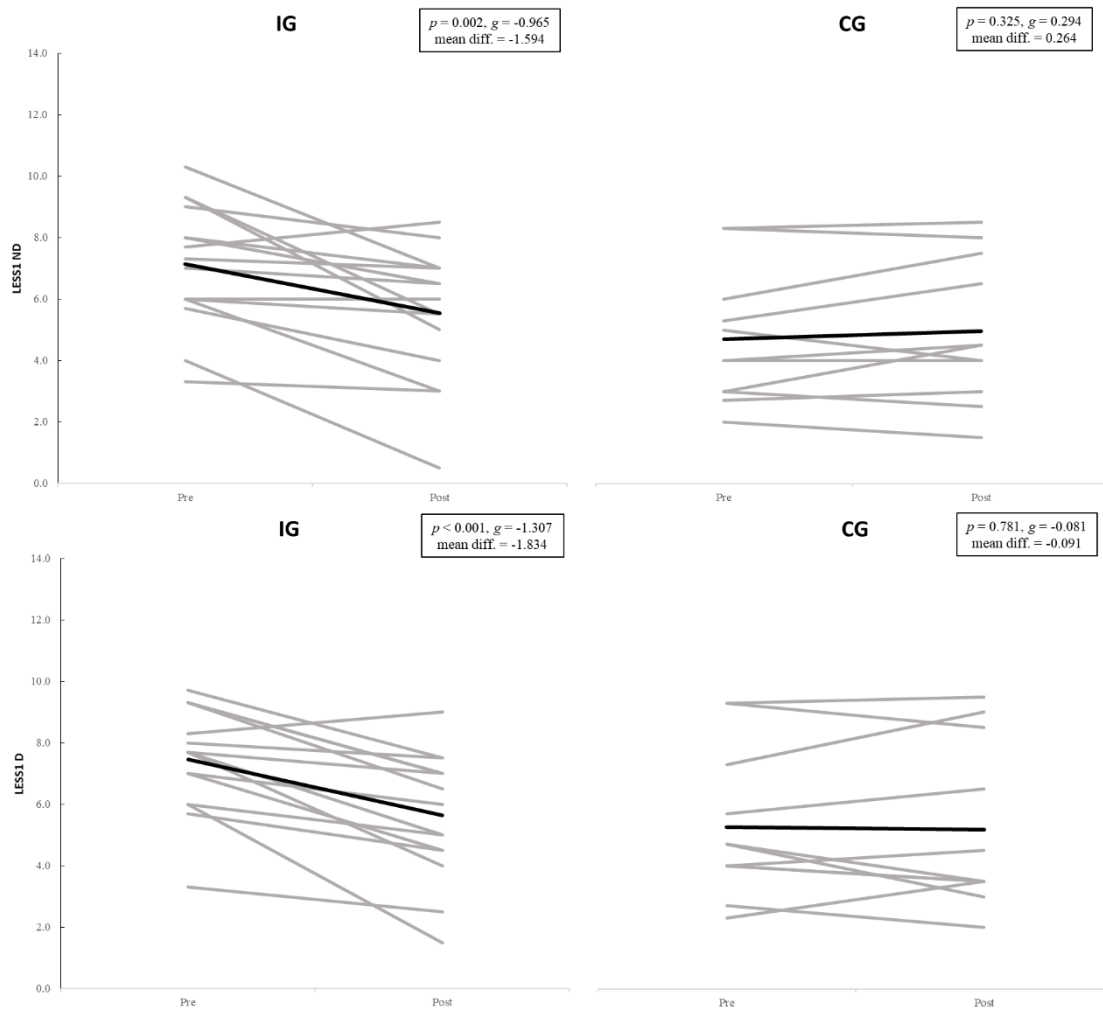
**Figure 2.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the GCT of the COD for both ND and D. COD = change of direction; GCT = ground contact times; ND = non-dominant leg; D = dominant leg; mean diff = mean differences; IG = intervention group; CG = control group.

### *CMAS and LESS*

Large and significant differences were found between IG and CG in CMAS in both ND ( $p=0.019$ ,  $\eta^2 = 0.223$ ) and D ( $p=0.017$ ,  $\eta^2 = 0.218$ ). CMAS was moderately improved in both legs in IG, while remaining unchanged in the CG (Table 4, Figure 3). Regarding the LESS, large and significant differences between IG and CG were found for LESS1 ND ( $p=0.020$ ,  $\eta^2 = 0.215$ ) and LESS1 D ( $p=0.007$ ,  $\eta^2 = 0.272$ ). These variables were moderately to largely improved in the IG while remaining unchanged in the CG (Table 4, Figure 4). Additionally, LESS2 was moderately improved in both legs in the IG, while remained unchanged in CG from pre to post (Table 4, Figure S3), no differences between groups were found ( $p=0.076-0.082$ ).



**Figure 3.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the CMAS for both ND and D. CMAS = Cutting Movement Assessment Score; ND = non-dominant leg; D = dominant leg; mean diff = mean differences; IG = intervention group; CG = control group. Note black line denotes mean.



**Figure 4.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the LESS1 for both ND and D. LESS1 = Landing Error Scoring System first landing; ND = non-dominant leg; D = dominant leg; mean diff = mean differences; IG = intervention group; CG = control group. Note black line denotes mean.

## DISCUSSION

The novel finding of the present study is that the *Safe Landing*, a 6-week warm-up based TM-based intervention consisting of ~9 min of landing, plyometric and cutting exercises with external feedback regarding movement quality and technique, is an effective strategy to improve movement quality in two standard ACL injury mechanisms: jump-landing and cutting. Additionally, as previously hypothesised, movement quality was improved without a negative effect on performance.

There is limited data available specifically to football player movement quality in the literature to compare our results to, as not many studies have investigated the effects of

TM-based interventions in improving mechanisms of ACL injury in football players (12). Although several studies have found promising results in improving COD movement quality following technique modification (15,35,36), only one study has investigated this intervention strategy in a youth football players (16), in which a 6-week of TM and COD velocity programme was found to be effective at achieving moderate to large ( $g=0.85-1.46$ ) improvements in movement quality during a COD70 using the CMAS. The slightly higher magnitudes of *ES* achieved than in the present study ( $g=0.55-1.20$ ) can be explained by the higher volume of training (40 vs 27 min/week) and that only COD training was addressed, in comparison with our intervention. Furthermore, the effectiveness of our programme (i.e. small to large improvements in LESS) is in line with previous TM programs that have shown to be effective at improving movement quality in jump-landing tasks in different sports (37,38). However, to the authors' knowledge, this is the first that investigated such effects in semi-professional adult football players using a low dose.

The inclusion of exercises designed to mitigate risky movement patterns should be an important component of ACL injury prevention programs, even though they are not commonly included in all programmes (39). Additionally, the effectiveness of such interventions can be highly influenced by the feedback provided to the athletes (27). In terms of the way in which the feedback can be directed, different strategies such as providing an external feedback and using implicit learning methods (i.e. when the amount of declarative (explicit) knowledge about movement execution is minimised) has shown to be very effective in decreasing the risk of ACL injury (26,27). Specifically, such methods have proven to be effective at promoting improved movement quality, with increased knee flexion angles, decreased knee frontal-plane movements, peak ground reaction forces, reduce movement noises, co-contraction, and decrease electromyographic activity, among others (40,41). On the other hand, the quality of the feedback provided by the supervisor is suggested to have a positive influence on the effectiveness of the intervention in a TM program (40). With this in mind, in the present intervention, a large emphasis was placed on the provision of feedback. Therefore, part of the effectiveness of the *Safe Landing* in improving movement quality of cutting and landing tasks could be explained by the implicit learning and the external feedback provided to the players (Table 1), in addition to the level of quality of the instructions and corrections by the supervisor of the program (i.e., a strength and conditioning specialist with high academic qualifications and high experience in football) (11).

Another possible explanation of the findings could be the introduction of unanticipated movements in the latest stages of the program, also present in previous interventions (15,16), given that neurocognitive demands seem to be an important factor in ACL injuries, which are shown to occur in unanticipated COD where less time is available to correct or change an already initiated movement (42).

Generally, the exercises included in the programme were intended to be relatively simple and non-complex so that the athletes could perform them easily. However, towards the latter stages of the intervention, unanticipated CODs were introduced to increase

contextual interference and cognitive loading, as suggested by Dos'Santos et al (16). Further strengths of the SL intervention were that no sophisticated equipment is required, a small training dose / volume of~ 27 min/week divided into three warm-ups are needed (9 min/session), make the Safe Landing a feasible TM program that can be easily implemented in any football context. This was highlighted by the high level of compliance presented in the IG (93%), an aspect that may have further determined the effectiveness of the programme, as they might have a clear positive relationship with compliance (26).

Of a great importance for ACL injury prevention programmes to be implemented and adhered to in practice is that performance is not negatively affected upon completion (18). As there may be an injury-performance trade-off regarding some biomechanics variables, practitioners should be cautious when addressing them in TM programs. For example, increasing knee flexion angles to promote a softer landing, while reducing the loads affecting the ACL, might also impair performance by negatively prolonging ground contact times (18,19). One of the strengths of the present intervention is key performance cutting and jumping performances measures were not negatively reduced, indicating that the SL TM was effective at reducing risk of ACL injury while, at least, maintaining performance. Ideally, while it would be further advantageous to demonstrate concurrent performance improvements in addition to injury mitigation adaptations (18), it appears that the SL TM dose / volume approach was not enough to do so (i.e. no more than 30 jumps/CODs per session), and probably more volume of work and also targeting other important components (e.g. eccentric strength) may be needed to see further improvements in performance (14). However, if included, the intervention would have required more equipment and time-consuming, which may therefore restrict its feasibility and hence implementation in the real context. Such interventions might be designed by practitioners considering the capabilities, budget, context of the club and characteristics of the players, being aware of the variety of different contexts that can be found in the football world.

## LIMITATIONS

The present study is not free of limitations. Firstly, while there were only an 11.8% of drop-outs in the IG, 26.7% of players in the CG were unable to be evaluated at POST. Although this considerably decreased the sample size in the CG, it is a limitation commonly found in studies that aim at evaluating football players in their real context. These drop-outs were caused by injuries, which is not uncommon in the part of the competitive season in which the study was carried out. Importantly, there were only 2 drop-outs in the IG, none of them being related to the proposed intervention (i.e. contact injuries). Secondly, only male, adult semi-professional football players were included, which may limit the generalisation of the findings. To further explore if the SF TM is effective in other populations (i.e. professional, female, young players), more research is needed. Finally, while a nonrandomized design is sometimes the only feasible approach

to study semi-professional football players in their specific context, proper randomized-controlled trials are encouraged to be conducted in which the influence of the group's assignment process is known to be minimum.

## CONCLUSIONS

The *Safe Landing* is a 6-week TM-based intervention which is effective at improving movement quality without negatively affecting performance of two of the main mechanisms of ACL injury in football: cutting and jump-landing actions. This programme is based on landing, COD and plyometrics training with an important emphasis posed on the technical execution of the movements, to which the quality of the feedback provided to the players appear to be crucial (i.e. by a specialised S&C coach and based on external feedback and implicit learning). Additionally, its effectiveness can be further explained by the feasibility of the programme, which is demonstrated by the high compliance of the IG (93%). Important features such as the low volume and dose (~ 9 mins/session, 3 times/week) and the lack of sophisticated equipment required may have contributed to this, hence making the *Safe Landing* a simple, feasible and attractive training strategy for coaches and practitioners that can mitigate ACL risk factors in-season, in a real-world sporting environment.

## Disclosure Statement

The authors declare they have no conflicts of interests. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

## REFERENCES

1. Ekstrand J, Spreco A, Bengtsson H, Bahr R. Injury rates decreased in men's professional football: an 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *Br J Sports Med.* 2021;(table 1):bjsports-2020-103159.
2. Hägglund M, Waldén M, Magnusson H, Kristenson K, Bengtsson H, Ekstrand J. Injuries affect team performance negatively in professional football: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *Br J Sports Med.* 2013;47(12):738–42.
3. Øiestad BE, Holm I, Aune AK, Gunderson R, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Knee function and prevalence of knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective study with 10 to 15 years of follow-up. *Am J Sports Med.* 2010;38(11):2201–10.
4. Della Villa F, Hägglund M, Della Villa S, Ekstrand J, Waldén M. High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: an updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. *Br J Sports Med.* 2021;bjsports-2020-103555.
5. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: A 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med.* 2016;50(12):744–50.
6. Della Villa F, Buckthorpe M, Grassi A, Nabiuzzi A, Tosarelli F, Zaffagnini S, et al. Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): Injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *Br J Sports Med.* 2020;1–10.

7. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in noncontact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med.* 2015;49(22):1452–60.
8. Donelon TA, Dos'Santos T, Pitchers G, Brown M, Jones PA. Biomechanical Determinants of Knee Joint Loads Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading During Cutting: A Systematic Review and Technical Framework. *Sport Med - Open.* 2020;6(1).
9. Dos'Santos T, McBurnie A, Donelon T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. A qualitative screening tool to identify athletes with 'high-risk' movement mechanics during cutting: The cutting movement assessment score (CMAS). *Phys Ther Sport [Internet].* 2019;38:152–61. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pts.2019.05.004>
10. Padua DA, Marshall SW, Boling MC, Thigpen CA, Garrett WE, Beutler AI. The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The jump-ACL Study. *Am J Sports Med.* 2009;37(10):1996–2002.
11. Petushek EJ, Sugimoto D, Stoolmiller M, Smith G, Myer GD. Evidence-Based Best-Practice Guidelines for Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Young Female Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2019;47(7):1744–53.
12. Olivares-Jabalera J, Fíler-Ruger A, Dos'Santos T, Afonso J, Villa F Della, Morente-Sánchez J, et al. Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (Soccer) players: A systematic review. Vol. 18, *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2021.
13. Waldén M, Krosshaug T, Bjørneboe J, Andersen TE, Faul O, Hägglund M. Three distinct mechanisms predominate in noncontact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. *Br J Sports Med.* 2015;49(22):1452–60.
14. Dos'Santos T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. The Effect of Training Interventions on Change of Direction Biomechanics Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading: A Scoping Review. *Sport Med [Internet].* 2019;49(12):1837–59. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01171-0>
15. Dos'Santos T, Thomas C, Comfort P, Jones PA. Biomechanical effects of a 6-week change-of-direction technique modification intervention on anterior cruciate ligament injury risk. *J Strength Cond Res.* 2021;35(8):2133–44.
16. Dos'Santos T, McBurnie A, Comfort P, Jones PA. The Effects of Six-Weeks Change of Direction Speed and Technique Modification Training on Cutting Performance and Movement Quality in Male Youth Soccer Players. *Sports.* 2019;7(9):205.
17. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of Soccer. *Physiol Soccer.* 2005;35(6):501–36.
18. Fox AS. Change-of-Direction Biomechanics: Is What's Best for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Also Best for Performance? *Sport Med [Internet].* 2018;48(8):1799–807. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0931-3>
19. Dos'Santos T, Thomas C, McBurnie A, Comfort P, Jones PA. Biomechanical Determinants of Performance and Injury Risk During Cutting: A Performance-Injury Conflict? *Sport Med [Internet].* 2021;51(9):1983–98. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01448-3>
20. Olivares-Jabalera J, Fíler-Ruger A, Dos'Santos T, Ortega-Domínguez J, Sánchez-Martínez RR, Soto Hermoso VM, et al. Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening. *Phys Ther Sport.* 2022;56.
21. Dos'Santos T, Thomas C, McBurnie A, Donelon T, Herrington L, Jones PA. The Cutting Movement Assessment Score (CMAS) Qualitative Screening Tool: Application to Mitigate Anterior Cruciate Ligament Injury Risk during Cutting. *Biomechanics.* 2021;1(1):83–101.
22. Bates NA, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Kinetic and kinematic differences between first and

- second landings of a drop vertical jump task: Implications for injury risk assessments? *Clin Biomech* [Internet]. 2013;28(4):459–66. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.02.013>
23. Bishop C, Read P, Lake J, Chavda S, Turner A. Interlimb asymmetries: Understanding how to calculate differences from bilateral and unilateral tests. *Strength Cond J*. 2018;40(4):1–6.
  24. Bosco C, Luhtanen P, Komi P. a Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *Eur J Appl Physiol*. 1983;50:273–82.
  25. Healy R, Kenny IC, Harrison AJ. Reactive strength index: A poor indicator of reactive strength? *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;13(6):802–9.
  26. Arundale AJH, Silvers-Granelli HJ, Myklebust G. ACL injury prevention: Where have we come from and where are we going? *J Orthop Res*. 2022;40(1):43–54.
  27. Benjaminse A, Welling W, Otten B, Gokeler A. Novel methods of instruction in ACL injury prevention programs, a systematic review. *Phys Ther Sport* [Internet]. 2015;16(2):176–86. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.06.003>
  28. Dos’Santos T, McBurnie A, Thomas C, Comfort P, Jones PA. Biomechanical Comparison of Cutting Techniques: A Review and Practical Applications. *Strength Cond J*. 2019;41(4):40–54.
  29. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* [Internet]. 2016;15(2):155–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
  30. Baumgartner TA, Chung H. Measurement in Physical Education and Exercise Science Confidence Limits for Intraclass Reliability Coefficients. 2009;(November 2014):37–41.
  31. O’Connell NS, Dai L, Jiang Y, Speiser JL, Ward R, Wei W, et al. Methods for Analysis of Pre-Post Data in Clinical Research: A Comparison of Five Common Methods. *J Biom Biostat*. 2017;08(01):1–8.
  32. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Second Edition. 1988. 597 p.
  33. Hedges L V, Olkin IBT-SM for M-A, editors. *Front Matter*. In San Diego: Academic Press; 1985. p. iii. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080570655500014>
  34. Hopkins WG. A Scale of Magnitudes for Effect Statistics. *New View Stat* [Internet]. 2002;502(411). Available from: [http://sportssci.org/resource/stats/e\\_ectmag.html](http://sportssci.org/resource/stats/e_ectmag.html)
  35. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ. Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *Am J Sports Med*. 2009;37(11):2194–200.
  36. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ, Russo KA. The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(10):1765–73.
  37. Chijimatsu M, Ishida T, Yamanaka M, Taniguchi S, Ueno R, Ikuta R, et al. Landing instructions focused on pelvic and trunk lateral tilt decrease the knee abduction moment during a single-leg drop vertical jump. *Phys Ther Sport*. 2020;46:226–33.
  38. Neilson V, Ward S, Hume P, Lewis G, McDaid A. Effects of augmented feedback on training jump landing tasks for ACL injury prevention: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport*. 2019;39:126–35.
  39. Dischiavi SL, Wright AA, Heller RA, Love CE, Salzman AJ, Harris CA, et al. Do ACL Injury Risk Reduction Exercises Reflect Common Injury Mechanisms? A Scoping Review of Injury Prevention Programs. *Sports Health* [Internet]. 2021;XX(X):1–9. Available from: <https://doi.org/10.1177/19417381211037966>
  40. Benjaminse A, Gokeler A, Dowling A V., Faigenbaum A, Ford KR, Hewett TE, et al. Optimization of the anterior cruciate ligament injury prevention paradigm: Novel feedback techniques to enhance motor learning and reduce injury risk. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015;45(3):170–82.
  41. Gokeler A, Benjaminse A, Welling W, Alferink M, Eppinga P, Otten B. The effects of attentional



focus on jump performance and knee joint kinematics in patients after ACL reconstruction. *Phys Ther Sport* [Internet]. 2015;16(2):114–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.06.002>

42. Gokeler A, Benjaminse A, Della Villa F, Tosarelli F, Verhagen E, Baumeister J. Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: Implications for injury screening. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2021;7(2):1–4.

## SUPPLEMENTARY MATERIAL

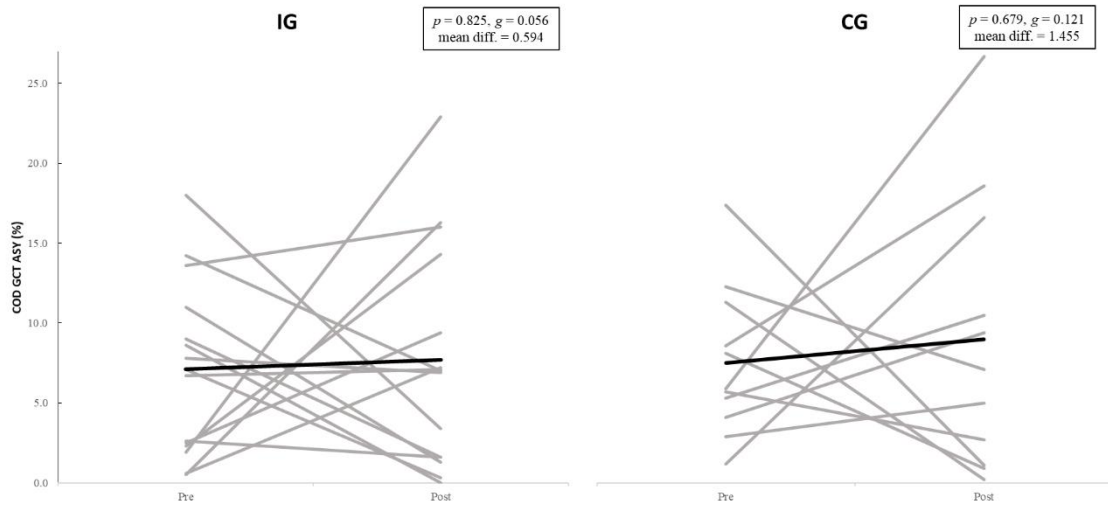
**Table S1.** 6-week training modification program: *Safe Landing*. COD = change of direction.

<b>Week</b>	<b>Component</b>	<b>Movement quality target</b>	<b>Drill</b>	<b>Volume*</b>	<b>Intensity</b>
<b>1</b>	Landing and plyometrics	Biomechanics of frontal jump-landing	Double-leg frontal jump with single-leg landing	6 / 6 / 3 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of frontal jump-landing	Single-leg frontal jump with single-leg landing	6 / 6 / 3 (each leg)	Maximum controllable jump distance
	COD	Biomechanics of straight-line decelerations	5-m straight-line acceleration to deceleration	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum acceleration and deceleration
		Biomechanics of straight-line decelerations	10-m straight-line acceleration to deceleration	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum acceleration and deceleration
		Biomechanics of curve-line decelerations	5-m curve-line acceleration to deceleration	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum acceleration and deceleration
<b>2</b>	Landing and plyometrics	Biomechanics of medial jump-landing	Double-leg medial jump with single-leg landing	6 / 6 / 3 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of lateral jump-landing	Single-leg lateral jump with single-leg landing	6 / 6 / 3 (each leg)	Maximum controllable jump distance
	COD	Biomechanics of curve-line decelerations	10-m curve-line acceleration to deceleration	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum acceleration and deceleration
		Biomechanics of pre-planned shallow COD	60-deg pre-planned COD – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of pre-planned moderate COD	90-deg pre-planned COD – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
<b>3</b>	Landing and plyometrics	Biomechanics of medial jump-landing	Single-leg medial jump with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of diagonal jump-landing	Double-leg diagonal-lateral jump with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of diagonal jump-landing	Single-leg diagonal-lateral jump with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
	COD	Biomechanics of pre-planned moderate COD	90-deg pre-planned COD – 7.5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of pre-planned sharp COD	135-deg pre-planned COD – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of pre-planned sharp COD	135-deg pre-planned COD – 7.5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed

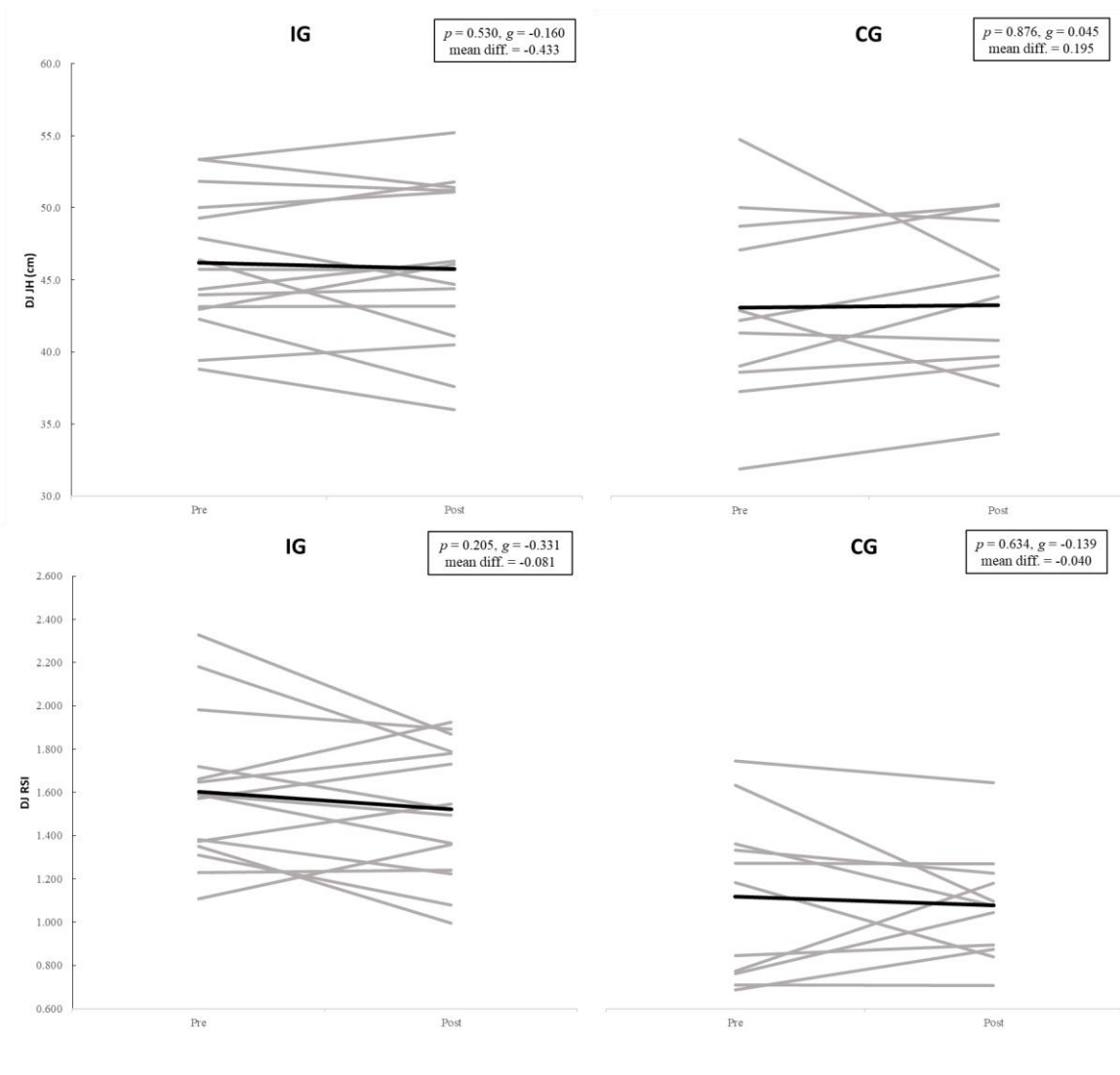
<b>4</b>	Landing and plyometrics	Biomechanics of diagonal jump-landing	Single-leg diagonal-medial jump with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Double-leg lateral + single-leg frontal jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Double-leg medial + single-leg frontal jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
	COD	Biomechanics of pre-planned sharp COD	180-deg pre-planned COD – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of pre-planned consecutive sharp CODs	180-deg pre-planned COD (left) + 180-deg pre-planned COD (right) – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2	Maximum speed
<b>5</b>	Landing and plyometrics	Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Single-leg frontal + single-leg frontal jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Single-leg lateral + single-leg frontal jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Single-leg medial + single-leg frontal jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
	COD	Biomechanics of unanticipated shallow COD in defensive actions	60-deg COD in response to an opponent movement (offensive) – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of unanticipated shallow COD in attacking actions	60-deg COD in response to an opponent movement (defensive) – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
<b>6</b>	Landing and plyometrics	Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Single-leg lateral + single-leg medial jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of consecutive jump-landings in multiple planes	Single-leg diagonal-lateral + single-leg diagonal-medial jumps with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump distance
		Biomechanics of rotatory jump-landing	Double-leg 90° medial-turn jump with single-leg landing	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum controllable jump height
	COD	Biomechanics of unanticipated moderate COD in defensive actions	90-deg COD in response to an opponent movement (offensive) – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed
		Biomechanics of unanticipated moderate COD in attacking actions	90-deg COD in response to an opponent movement (defensive) – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2 (each leg)	Maximum speed

Biomechanics of consecutive sharp CODs in competition	180-deg pre-planned COD (left) + 180-deg pre-planned COD (right) competing with an opponent – 5-m entry and exit	4 / 4 / 2	Maximum speed
---	--	-----------	---------------

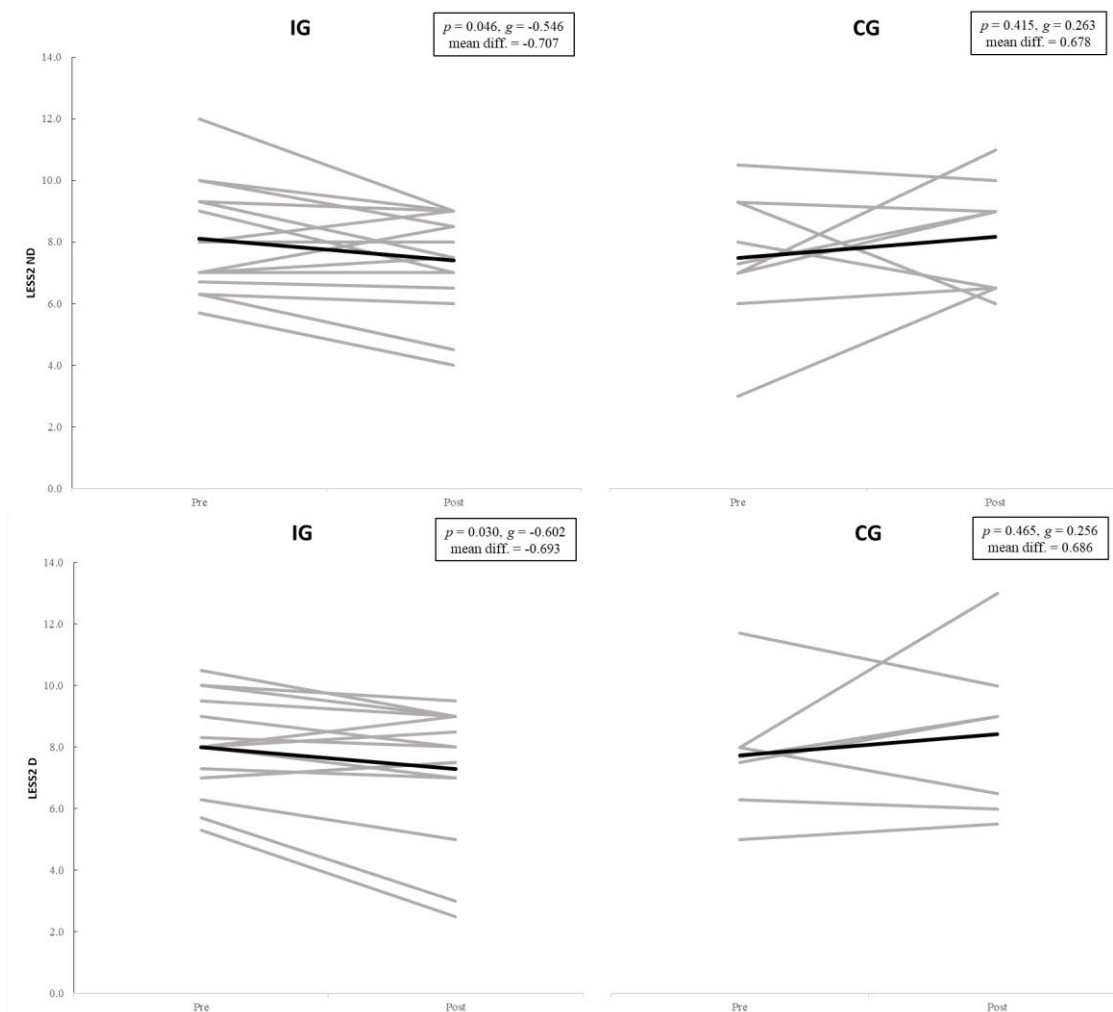
*\* The volume is divided into the three training sessions of each week. Note that, while complexity of the exercises is increasing through the weeks, the volume remains relatively constant, as well as the intensity, which is intended to be always maximum.*



**Figure S1.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the GCT ASY of the COD. COD = change of direction, GCT = ground contact times, ASY = asymmetry, mean diff = mean differences, IG = intervention group, CG = control group.



**Figure S2.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the JH and RSI of the DVJ. DVJ = drop vertical jump, JH = jump height, RSI = reactive strength index, mean diff = mean differences, IG = intervention group, CG = control group.



**Figure S3.** Individual changes and mean differences from pre- to post-assessments of CG and IG in the LESS2 for both ND and D. LESS2 = Landing Error Scoring System second landing, ND = non-dominant leg, D = dominant leg, mean diff = mean differences, IG = intervention group, CG = control group.



---

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES GENERALES

---

En el presente capítulo se expondrán brevemente, a modo de recapitulación, las conclusiones más relevantes, sus aplicaciones prácticas y las limitaciones de la tesis doctoral.

## 5.1 Conclusiones generales

Como parte del presente trabajo de doctorado se realizaron dos detalladas revisiones de la literatura que, junto a los estudios de campo posteriormente llevados a cabo, permitieron proveer a miembros de cuerpos técnicos, médicos y de rendimiento de equipos de fútbol con herramientas para evaluar los FR de lesión de LCA en los principales mecanismos lesionales, así como con eficaces y eficientes estrategias de ejercicio físico para prevenirlos, potencialmente implementables en diferentes estructuras independientemente del nivel competitivo. A continuación se enumeran las conclusiones resultantes más relevantes:

- A. La lesión de LCA es una lesión cuya incidencia es baja, pero de devastadoras consecuencias. A nivel de equipo, porque puede provocar grandes pérdidas económicas, así como influir directamente en el rendimiento en la temporada, especialmente cuando estas ocurren a jugadores de gran importancia en el vestuario, dado que el tiempo de recuperación antes de volver a competir nunca es menor a 6-7 meses. A nivel de jugador, porque puede suponer el final de la carrera deportiva o de no volver a competir al mismo nivel previo. Además, incrementa de manera exacerbada el riesgo de sufrir una segunda lesión de LCA, así como el de sufrir osteoartritis temprana.
- B. La lesión de LCA ocurre principalmente en situaciones de no contacto o contacto indirecto con la rodilla lesionada (>80%). Entre las que no ocurren por contacto directo, entorno a un 33-50% se dan en movimientos de presión en situaciones defensivas, donde el jugador se lesiona al realizar una desaceleración brusca o un CDD de unos 30-90° de angulación y a alta velocidad, con el objetivo de arrebatarse un balón controlado por el oponente o de trabar su trayectoria. A nivel biomecánico, el LCA se rompe como consecuencia a un incremento de las cargas asumidas, comúnmente por un patrón que combinaría una rotación e inclinación del tronco hacia el lado contrario al CDD, la cadera en abducción, valgo de rodilla y el pie apoyado, plano y rotado externamente. Las habilidades neurocognitivas del futbolista parecen ocupar un rol fundamental en la lesión, pues estas suelen ocurrir en situaciones de incertidumbre, donde el jugador, en respuesta a un estímulo externo (comúnmente, una finta) y en un intervalo temporal muy limitado, no consigue realizar los ajustes necesarios en el patrón motor preestablecido, desembocando en las mecánicas lesionales.
- C. Como todas las lesiones, la de LCA presenta una naturaleza multifactorial, donde una gran variedad de FR genéticos, anatómicos, hormonales, biomecánicos y



neuromusculares interactúan para incrementar o reducir la probabilidad de lesión. No obstante, a pesar de todos los FR internos y externos propuestos en la literatura, no existe evidencia contundente respecto a ninguno de ellos, principalmente por causa de la carencia de estudios prospectivos de cohorte de alta calidad metodológica y de las limitaciones inherentes de este tipo de diseños, considerados el *gold standard* para la identificación de riesgos. La reducción de estos factores presumiblemente repercute en un menor riesgo de sufrir la lesión. Sin embargo, ante la falta de evidencia férrea en estos factores, un sugerente enfoque alternativo consistiría en abordar los mecanismos, cada vez mejor descritos, incidiendo positivamente en las capacidades físicas y cognitivas que los sustentan.

- D. Existen una multitud de test propuestos en la literatura que incluyan los principales mecanismos: esto es, aterrizaje de salto y CDD. En el caso de los saltos, diferentes alternativas son saltos con contramovimiento, DVJ, saltos consecutivos (e.g. Tuck jump), saltos verticales tras carrera de aproximación y saltos horizontales. En el caso de cambios de dirección, comúnmente pueden ser agrupados según el ángulo entre la dirección de aproximación y de salida: leves ( $< 45^\circ$ ), moderados ( $45-135^\circ$ ) y agresivos ( $> 135^\circ$ ). Entre los análisis que se pueden hacer y que poseen una mayor incidencia en la corrección de patrones lesionales, destacan los que evalúan la calidad de movimiento, aunque tradicionalmente estas evaluaciones han estado limitadas a contextos de laboratorio y a la utilización de recursos materiales y de tiempo que impiden su aplicación en el contexto de equipos de fútbol. Sin embargo, en los últimos años se han propuesto herramientas para llevar a cabo estos análisis en situaciones de campo. Entre estas herramientas, destacan el LESS y el CMAS, escalas apropiadamente validadas frente a sistemas de captura de movimiento y dirigidas a analizar factores asociados a las principales fuerzas causantes del incremento de tensiones en el LCA (i.e. momento de traslación anterior de tibia y momentos de abducción y de RI de rodilla) en tareas de salto y aterrizaje (DVJ y CDD, respectivamente, mostrando además aceptables niveles de fiabilidad (Artículo 1).
- E. Las escalas LESS y CMAS con la inclusión de un balón como FE son herramientas fiables para evaluar la calidad de movimiento de futbolistas semiprofesionales en test de DVJ y CDD, respectivamente, además de ser potencialmente implementables en equipos de fútbol de diferentes niveles o sexos gracias al escaso equipamiento requerido, así como el razonable tiempo requerido para realizar las evaluaciones. No obstante, si bien presentan niveles inferiores aunque aceptables de fiabilidad interobservadores, se recomienda precaución cuando diferentes miembros de un cuerpo médico o rendimiento realicen evaluaciones diferenciadas, especialmente en el caso del CMAS. Por lo tanto, siempre que sea posible, se sugiere que sea el mismo observador quien realice

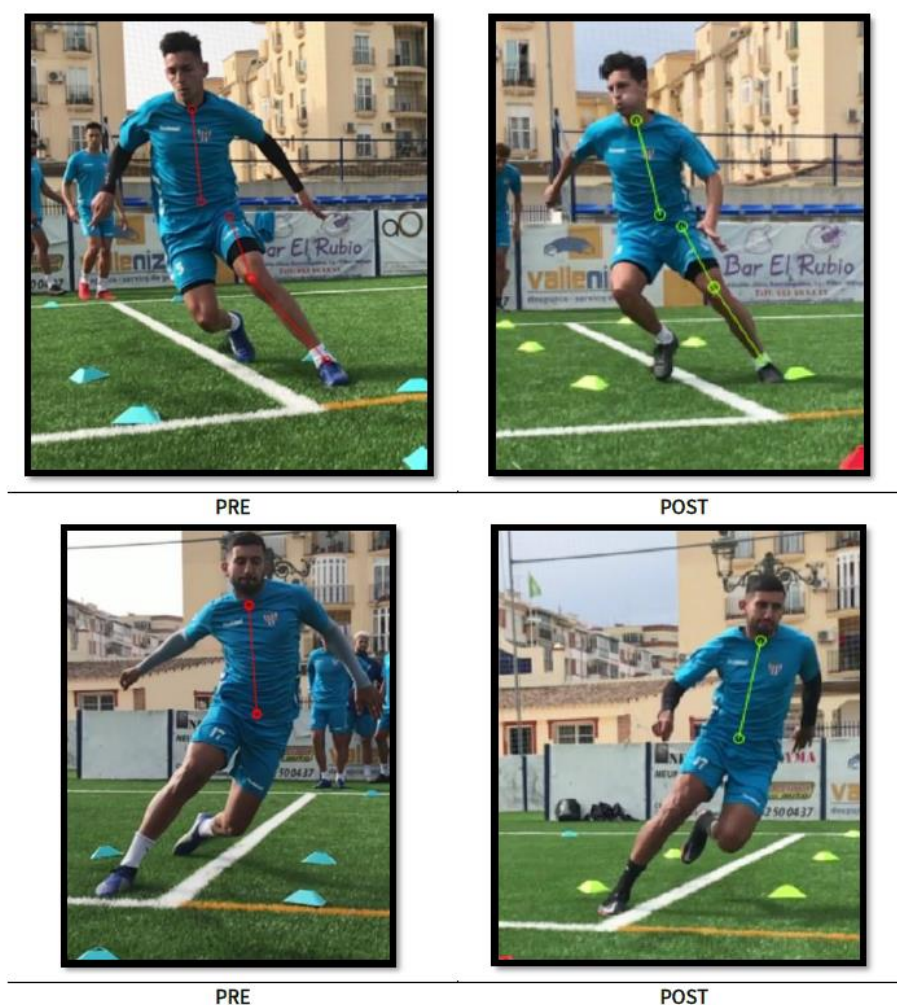
periódicamente las evaluaciones para una mayor precisión en la identificación de cambios relevantes en los FR (Artículo 3).

- F. El perfil de riesgo de lesión es dependiente de la tarea a través del que se identifique, de modo que presentar un patrón potencialmente lesivo en el DVJ no es indicativo de que el mismo jugador presente patrones lesivos durante un CDD, y viceversa, lo cual podría verse determinado por las diferencias biomecánicas de ambas acciones, la sobreexposición en entrenamientos y partidos de una frente a otra (marcadas por el perfil del jugador y de la posición), o por las características coordinativas y neuromusculares del jugador en cuestión. Por este motivo se recomienda que, para una visión integral del perfil de riesgo del futbolista en los principales mecanismos lesionales, en la batería simplificada se debería incluir una tarea de salto y otra de CDD, dado que tanto el LESS como el CMAS aportarán información complementaria respecto a movimientos claramente diferenciados. En el caso de que el tiempo disponible impida llevar a cabo los dos test, se recomendaría el análisis del CDD (CMAS) dado que las investigaciones observacionales más recientes parecen identificarlo claramente como el principal mecanismo de lesión de LCA en fútbol (Artículo 3).
- G. Cuando se incluyera el DVJ en la batería propuesta, se recomienda además llevar a cabo un análisis de los dos aterrizajes: el primero, cuyo objetivo es realizar un salto vertical máximo posterior, y el segundo, cuyo propósito es el mero aterrizaje sin acción posterior. Este último, aunque comúnmente no es analizado, podría poner de manifiesto deficiencias ocultas, ya que parece producirse con una mayor rigidez articular alterando, por lo tanto, la correcta absorción de FRS (a través de una menor flexión de tobillo, rodilla, y cadera), así como ocasionando un peor control del tronco en el plano frontal. Con el análisis de ambos, se puede obtener una visión aún más detallada del perfil de riesgo (Artículo 3).
- H. Respecto a las estrategias de prevención, diferentes programas basados en calentamientos han mostrado eficacia en la reducción de la IL de LCA, aunque los mecanismos por los que lo consiguen no están claros, y con el inconveniente adicional de que su implementación en equipos de fútbol está siendo muy baja. Otros protocolos de equilibrio, estabilidad lumbopélvica o modificación técnica presentan efectos prometedores en la reducción de riesgos de lesión, aunque se desconoce su incidencia en la corrección de mecanismos lesionales, dado que escasos artículos evalúan esta efectividad en la calidad de movimiento de las acciones predisponentes. Solo un artículo lo hace utilizando herramientas que, además, sean fácilmente implementables en el contexto de un equipo de fútbol (i.e. el CMAS), encontrando resultados muy positivos siguiendo un entrenamiento de corrección técnica de CDD. Por otro lado, otras intervenciones de entrenamiento resistido hallan resultados prometedores potencialmente

preventivos de lesión, pero requieren inversiones de tiempo (>3h semanales) y equipamiento que dificultan su implementación (Artículo 2).

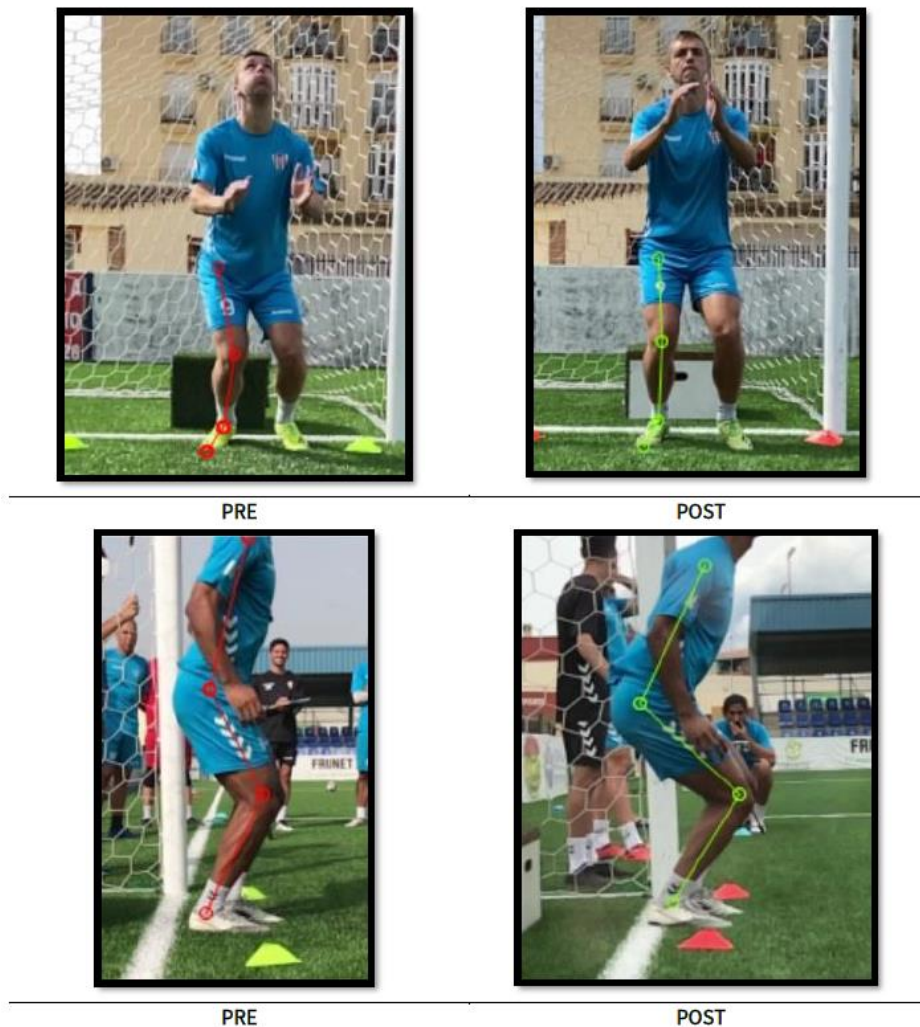
- I. Más allá de las limitaciones referentes a la escasez de intervenciones de fácil implementación, y cuya efectividad se haya constatado en la modificación de patrones lesionales, existen otros problemas en los programas de prevención publicados que requiere abordar en futuras investigaciones, y que limitan la extrapolación de los hallazgos encontrados. Los protocolos raramente son registrados previamente como es más habitual en otros ámbitos biomédicos, lo cual incrementa el riesgo de sesgo por suponer un desconocimiento de las intervenciones y análisis que se pretendían llevar a cabo, frente a las que finalmente fueron ejecutadas. Además, rara vez se ajustan los resultados a variables potencialmente contaminantes en estudios no aleatorizados, se mencionan explícitamente los métodos de aleatorización y asignación de participantes a los grupos experimentales, o se utilizan tamaños de muestra o tiempos de seguimiento lo suficientemente amplios para identificar con ciertas garantías efectos significativos de las intervenciones en la IL. Finalmente, muy pocos son los estudios que aluden directamente a información de extrema relevancia como los niveles fiabilidad de los resultados de interés (medida directamente, para la población estudiada), los mínimos cambios relevantes para cada variable, los ratios de adherencia o aportan descripción detallada respecto al supervisor de la intervención, a pesar de este último poder condicionar altamente tanto los análisis como las supuestas eficacias de los programas preventivos (Artículo 2).
- J. Finalmente, se propone el *Safe Landing*, un programa de prevención de 6 semanas diseñado para incluirse en calentamientos, dirigido a mejorar la calidad de movimiento en los principales mecanismos de lesión. La intervención consiste en un programa de entrenamiento basado en saltos y aterrizajes de saltos, pliometría y CDD, que es llevado a cabo tres veces por semana y cuyas características esenciales son su volumen constante (entre 20 y 30 cambios de dirección y 30 saltos y aterrizajes por sesión), su progresión en complejidad de movimientos hasta simular los producidos en competición, así como la calidad del feedback aportado, basado en técnicas de CR con FE y aprendizaje implícito, y dirigido por un experto en ciencias del deporte y con alta experiencia como preparador físico de fútbol. Con el objetivo de hacerla eficiente y aumentar los niveles de adherencia, el equipamiento necesario es el existente en cualquier estructura de un equipo de fútbol (balones, petos, conos), mientras que requiere invertir tan solo 27 minutos semanales (9 por sesión), lo que se consigue fácilmente como parte final de un calentamiento estandarizado (Artículo 4).
- K. El *Safe Landing* se mostró efectivo para la reducción de riesgos de lesión de LCA. Concretamente, el grupo que lo llevó a cabo experimentó mejoras significativas

de gran magnitud en el CMAS en un CDD de 70° (Figura 20), y en el LESS del primer aterrizaje del DVJ (Figura 21), mientras que estas fueron de magnitud moderada en el segundo aterrizaje del DVJ, en comparación al GC, que realizó un calentamiento estandarizado de la misma duración. A pesar de la posible existencia de un conflicto de riesgo de lesión y rendimiento, el segundo no se vio mermado como consecuencia de la intervención, lo que manifiesta que los jugadores adoptaron patrones de movimiento más seguros sin una pérdida concurrente del rendimiento. Si bien es cierto que esta balanza de costes y beneficios para su implementación, conocidas las nefastas consecuencias de la lesión que pretende prevenir, resulta atractiva, la intervención lo sería aún más de provocar una mejora del rendimiento en acciones determinantes como son el salto y el CDD. Sin embargo, para ello probablemente sería necesaria la inclusión de otros componentes adicionales (entrenamiento de fuerza, de velocidad, etc.) que incrementarían el tiempo, el volumen y probablemente el equipamiento requerido para su implementación incrementando, en consecuencia, el riesgo de ver reducidos los niveles de adherencia, determinante último de cualquier programa, que en el presente estudio fue del 93% (Artículo 4).



**Figura 20.** Ejemplos de la mejora de la calidad de movimiento que el *Safe Landing* produjo en el test de cambio de dirección. Se observa cómo los jugadores lo ejecutan usando una mejor orientación

del tronco hacia la nueva dirección de desplazamiento (arriba y abajo), al mismo tiempo que reduciendo el valgo de rodilla en la fase de apoyo con el suelo (arriba).



**Figura 21.** Ejemplos de la mejora de la calidad de movimiento que el *Safe Landing* produjo en el test de drop jump. Se observa cómo los jugadores lo ejecutan con una mejor alineación cadera, rodilla, tobillo y pie en el plano frontal (arriba), así como mediante una mayor absorción del impacto (abajo).

## 5.2 Limitaciones relativas a las investigaciones desarrolladas.

Cuando se emprende cualquier tipo de estudio de investigación se asumen una serie de fortalezas y limitaciones inherentes al diseño y los procedimientos utilizados, de modo que los resultados del mismo siempre han de ser interpretados teniéndolas en consideración. En el capítulo anterior se recopilaron los hallazgos generales del compendio de artículos con la pretensión de responder a la pregunta “¿qué conclusiones se pueden extraer de la presente tesis?” Con este capítulo, a pesar de que al final de cada artículo existe una sección dedicada al análisis de limitaciones, se pretende detallar y enfatizar algunas de ellas con el objetivo de contestar, complementariamente, a la pregunta: “¿qué conclusiones no se deben extraer de la presente tesis?”

### *5.2.1 Limitaciones relativas al primer artículo*

La primera investigación fue, casi con total probabilidad, la que exigió un mayor coste de tiempo y esfuerzo como consecuencia de mi inexperiencia en revisiones sistemáticas. Con el objetivo de reducir la búsqueda y solo analizar las investigaciones más recientes se revisaron únicamente los artículos publicados en los últimos diez años; esto es, en aquel momento, los publicados entre los años 2009 y 2019. Además, la búsqueda solo se realizó en la base de datos PUBMED. Si bien es cierto que esta base de datos engloba la gran mayoría de las investigaciones publicadas en el ámbito y que, al contrario a lo que ocurre en otras como Web of Science, incluye evidencia referente a la denominada literatura gris, la incorporación de otras bases de datos hubiera garantizado que ningún artículo de relevancia quedara sin ser seleccionado. En la que supuso otra limitación, no se realizó análisis del sesgo de los artículos y no se discutieron de manera detallada las variables referentes a la calidad de movimiento, sino que se englobaron dentro de cinéticas, cinemáticas y de electromiografía (EMG). La decisión que sustentó este enfoque se fundamentó en la enorme heterogeneidad tanto de diseños de estudios encontrados, como de diferentes variables analizadas. No obstante, un análisis pormenorizado en este respecto habría aportado riqueza metodológica y una visión más precisa de la asociación de determinadas variables con la lesión que, de este modo, podrían haber pasado más desapercibidas. Por último, los test evaluando movimientos de aterrizaje y cambios de dirección podrían no ser adecuados para futbolistas menores de 13 años por una cuestión madurativa (Dugdale et al., 2019, 2020), motivo por el que se excluyeron del análisis y los hallazgos no pueden ser extrapolados para esta población.

### *5.2.2 Limitaciones relativas al segundo artículo*

En la segunda revisión, dado que el objetivo era identificar efectos concretos de determinadas intervenciones en lesiones o FR de lesión de LCA y, en este sentido, la variedad de diseños de investigación utilizados (y que eran de interés) era menor, esta vez sí se optó por hacer un análisis del sesgo siguiendo las más actualizadas directrices. Análisis del sesgo que, por otro lado, se consideró indispensable para una adecuada interpretación de los resultados (Sterne et al., 2016, 2019). Por otro lado, a pesar de que la idea de realizar un metanálisis sobre los efectos de las intervenciones en cada uno de los FR o en la IL de LCA resulta altamente atractiva, nuevamente la heterogeneidad no solo respecto a FR analizados, sino también a las diferentes formas de evaluar cada uno de ellos, impidió que este pudiera ser llevado a cabo, bajo mi criterio, con un mínimo de garantías que permitiera una adecuada extrapolación de resultados. Por lo tanto, se optó por conducir al lector a una interpretación más cualitativa que, por otro lado, se consideró se ajustaría mejor a la realidad deportiva en que los hallazgos deberían ser aplicados. Otro aspecto que considerar, derivado de limitaciones detalladas en la sección anterior, es que resulta tremendamente difícil, cuando no imposible, determinar la repercusión que tienen cualquiera de las intervenciones incluidas en la reducción real y palpable del número de

lesiones de LCA sufridas en un equipo de fútbol. Esto se debe a la pobre evidencia existente respecto a los FR modificables, así como al problema relativo a la baja incidencia de la lesión de LCA; aspectos que impiden establecer relaciones causales entre la reducción de un FR y su consecuente efecto en el número de lesiones. Probablemente haya multitud de factores influyentes que, a día de hoy, aún no conocemos pero que sin duda están formando parte (tal vez, incluso más relevante) del problema, por lo que resulta dudoso buscar evitar el ‘todo’ (la lesión) por la ‘parte’ (los FR), en un contexto en el que el ‘todo’ es altamente infrecuente.

### *5.2.3 Limitaciones relativas al tercer artículo*

En el primer artículo original publicado, de diseño transversal, se evaluó a un grupo de 42 jugadores de fútbol semiprofesionales pertenecientes a equipos que competían en la tercera y cuarta división de competiciones españolas. El objetivo era proponer test con modificaciones cuyo propósito era aumentar la validez externa de los mismos para la evaluación de la calidad de movimiento de aterrizajes y cambios de dirección de dichos futbolistas. La primera limitación inherente a este enfoque es referente a la población estudiada. Si bien por el equipamiento y la logística requerida podrían ser test llevados a cabo en cualquier equipo de fútbol, independientemente del nivel, la edad o el sexo de los futbolistas, los hallazgos solo pueden ser extrapolables a la población estudiada; esto es, futbolistas, hombres, de nivel semiprofesional.

Respecto a los test utilizados, a pesar de suponer un importante acercamiento a la especificidad de los mecanismos de lesión de LCA respecto a mediciones de laboratorio, donde la colocación de marcadores, y las diferencias en el calzado y en la superficie donde se realizan pueden alterar notablemente los patrones de movimiento exhibidos en competición, aún carecen de importantes particularidades para ser considerados una simulación perfecta de dichos patrones (Di Paolo et al., 2023). Como se ha descrito en la sección de mecanismos, la lesión de LCA en fútbol se caracteriza por ocurrir principalmente en situaciones defensivas donde el oponente, a través de una finta, provoca una reacción motriz en el defensor cuyo objetivo es anticiparse y robar el balón (Gokeler et al., 2021). Esta reacción lo obliga a modificar el patrón motor en un tiempo limitado y en una situación en la que una desviación de la atención le impide centrarse apropiadamente en la ejecución de la acción (frecuentemente, un CDD) que termina propiciando la lesión.

En la tarea de CDD propuesta en el estudio, el jugador conoce la dirección de desplazamiento antes de comenzar el movimiento y no tiene que reaccionar a estímulos generados por un oponente, de modo que, al contrario que ocurre en mecanismos de lesión, el jugador puede anticipar el patrón motor y, probablemente, reducir drásticamente el riesgo real de sufrirla. Aunque empieza a haber avances significativos en la generación de entornos de incertidumbre para la identificación de riesgos de LCA en CDD, estos están limitados a contextos de laboratorio, donde además la incertidumbre creada, a menudo, es altamente inespecífica y dista de la que el futbolista se encuentra en

competición. Por ejemplo, esta incertidumbre a menudo se genera a través de colores (Beaulieu et al., 2009), flechas (Imwalle et al., 2009), luces o señales visibles o sonoras (Whyte et al., 2018) ante las que hay que reaccionar.

Para abordar estas limitaciones se comienza a hacer uso de herramientas de realidad aumentada a través de las cuales se pretende exponer a la incertidumbre creada por un oponente. No obstante, aquí surge otra limitación inherente a este enfoque que, a priori, supondría un enorme avance en el screening de deportistas: si asumimos que el contexto en el que ocurren las lesiones requiere que el futbolista sea incapaz de anticiparse al movimiento que ha de realizar, ¿cómo se puede crear un test que consiga conjugar la estandarización requerida para que el movimiento pueda ser revaluado con el fin de identificar efectos de potenciales intervenciones (esto es, que sea fiable y repetible en el tiempo) con el hecho de que, si queremos que represente fidedignamente los mecanismos reales, este no puede ser reconocible por el deportista? Existiría claramente aquí cierto conflicto entre repetibilidad, fiabilidad y especificidad del test. En el test propuesto en la tesis doctoral se asume un avance en la especificidad en la que se mantienen, como se demuestra en este artículo, niveles de fiabilidad aceptables.

Además, existiría una segunda problemática en el avance respecto a la especificidad de estas acciones, referente a los riesgos que estaríamos asumiendo en la realización del test: ¿hasta qué punto convendría recrear de manera tan fidedigna un mecanismo que puede exponer a sufrir una lesión de tan devastadoras consecuencias? ¿Supondría un riesgo real de lesión el mero hecho de ser evaluado? Un debate pertinente y que ciertamente debería abordarse antes de dar pasos que pudieran ser contraproducentes en el objetivo de prevenir la lesión de LCA.

#### 5.2.4 Limitaciones relativas al cuarto artículo

Finalmente, se cierra el compendio de artículos con un estudio experimental, longitudinal, con el que se estudia el efecto de un programa preventivo en la calidad de movimiento de mecanismos lesionales de LCA. Para ello, el diseño considerado *gold standard* sería un ECA. Sin embargo, como se ha argumentado en secciones anteriores, este tipo de diseños es difícilmente aplicable cuando se trata de evaluar futbolistas semiprofesionales. En primer lugar, porque no resulta fácil encontrar clubes que se ofrezcan a alterar su proceso de entrenamiento para llevar a cabo estudios de investigación, especialmente cuando éstos son liderados por personal externo a la estructura.

Por otro lado, porque resulta más difícil aún crear grupos aleatorizados dentro de un mismo grupo, lo cual puede levantar reticencias por parte de los jugadores por llevar a cabo intervenciones de las que, *a priori*, podrían no beneficiarse. Por ejemplo, si se lleva a cabo una intervención preventiva, y esta se muestra eficaz, el grupo experimental (GE) se beneficiaría de la misma, pero no así la otra mitad del equipo, que habría participado como GC y podría argumentar, legítimamente, que han sufrido alteraciones en su proceso habitual de entrenamiento sin obtener ningún tipo de contrapartida. De este modo, el



desarrollo de ECA presenta dificultades éticas y operativas que difícilmente son asumibles al estudiar esta población; motivo por el que, asumiendo sus limitaciones, se optó por llevar a cabo un estudio no aleatorizado, donde por conveniencia un equipo sirvió como control y otro como experimental.

No obstante, se intentaron minimizar las limitaciones inherentes a este tipo de diseños a través de una adecuada utilización de estrategias estadísticas, como pueden ser analizar las diferencias entre grupos ajustando por las posibles diferencias ya presentes en el pretest (para corregir, en parte, la ausencia de aleatoriedad) (Sterne et al., 2016), o comparándolas respecto a métricas de MCR calculadas para la población de estudio.

Otra de las limitaciones del mismo fue que, a pesar de que solo hubo 2 y 4 bajas experimentales en los grupos experimental y de control, respectivamente, estas supusieron un 11.8% y 26.7% de la muestra inicial, dado que esta era pequeña ( $n=17$  en experimental,  $n=15$  en control). Sin embargo, esta pérdida de jugadores es perfectamente compatible con el dinámica habitual de lesiones de un equipo de fútbol en etapa competitiva. Es cierto que si la cifra fuera desmesurada podría levantar sospechas sobre la seguridad de la intervención, pero considerando que las dos bajas del GE se debieron a lesiones traumáticas (i.e. por contacto directo), esta opción resulta altamente improbable en el presente estudio.

Otra potencial problemática derivada de implementar el *Safe Landing* es que puede ocasionar, tras las primeras sesiones, pequeñas mialgias diferidas (popularmente conocidas como agujetas) en jugadores poco familiarizados con el entrenamiento pliométrico y de CDD, lo que a su vez puede despertar cierto recelo o rechazo ante la intervención. No obstante, todos los jugadores que sufrieron un mayor cansancio muscular en la primera semana afirmaron que este desapareció por completo en la segunda.

Finalmente, si bien contribuyó a mejorar considerablemente patrones lesionales, la intervención no fue suficiente para mejorar el rendimiento de importantes acciones como el salto o el CDD. Mejora que podría producirse, posiblemente, aumentando el volumen del programa ( $>27$  min/semana) (Dos et al., 2021). Este aumento, no obstante, podría paralelamente dificultar su implementación y, en consecuencia, reducir su eficacia en un contexto real de entrenamiento.

### 5.3 Aplicaciones prácticas

Toda investigación que, sin abordar los aspectos de naturaleza más teóricos típicos de la ciencia básica, tenga por objetivo generar conocimiento aplicado debería explicitar la realidad específica en que dichos hallazgos han de ser transferidos; en este caso, el contexto deportivo. Por todos es conocido que cualquier jugador está expuesto a un riesgo inherente asociado a la práctica del fútbol, siendo el anhelo de profesionales de cuerpos médicos y rendimiento el de reducirlo al máximo posible en la medida de las posibilidades. No obstante, esta reducción del riesgo no es más que el producto final de

un proceso estructurado que debe iniciar con un screening efectivo. Siguiendo la máxima del físico y matemático Lord Kelvin de que “lo que no se mide no se puede mejorar”, uno de los objetivos de la tesis fue ofrecer a estos profesionales herramientas mediante las que pudieran identificar aquellos jugadores en alto riesgo.

En esta línea, si bien ya eran herramientas validadas con anterioridad, en el presente trabajo se propone una batería minimalista que mediante tan solo dos test, uno de DVJ y otro de CDD, permite conocer un perfil de riesgo del jugador a sufrir una lesión de LCA, con uno de los más altos niveles de validez externa publicados hasta la fecha. Para este análisis, se proponen las herramientas LESS y CMAS, escalas cualitativas que además de estar apropiadamente validadas, sus altos niveles de fiabilidad para evaluar futbolistas han sido apropiadamente demostrados. La gran ventaja de esta batería es que viene a solventar dos problemas típicamente encontrados en fútbol: la falta de tiempo y de equipamiento.

En este sentido, dado el escaso tiempo requerido para llevar a cabo las evaluaciones y el equipamiento básico necesario, fácil de encontrar en cualquier estructura, no existen grandes limitaciones que impidan, de partida, que estas sean realizadas de forma periódica. Por ejemplo, una primera evaluación a inicio de temporada permitiría establecer líneas base y referencias individuales hacia las que apuntar en periodos de rehabilitación y vuelta a competición en lesiones sufridas con posterioridad. Además, posibilitaría hacer pequeños análisis internos, como investigar prospectivamente si alguna de las escalas, cuando no ítems individuales de la misma, son capaces de explicar parcialmente no solo lesiones de LCA, sino potencialmente otras de origen articular. Evaluaciones a mitad y final de temporada permitirían, adicionalmente, identificar cómo oscilan los niveles de calidad de movimiento a lo largo de la competición, identificando momentos en los que se podría justificar un mayor énfasis hacia la implementación de intervenciones preventivas.

Por otro lado, la tercera parte de la cita acuñada por Kelvin, que reza “lo que no se mejora se deteriora siempre”, bien puede servir de introducción al otro gran objetivo de la presente tesis: proveer a preparadores físicos, médicos y fisioterapeutas con estrategias de ejercicio físico dirigidas a prevenir la lesión de LCA. Concretamente, el programa de prevención propuesto fue el *Safe Landing*, cuyas principales fortalezas son, nuevamente, el escaso equipamiento necesario (esto es, conos y balones), y el mínimo tiempo requerido por cada “dosis” de entrenamiento. De hecho, tan solo 27 minutos semanales invertidos (nueve por sesión) durante seis semanas se mostraron efectivos para reducir riesgos asociados a los dos mecanismos lesionales mencionados.

El programa fue diseñado respetando dos premisas claras: que por sus características fuera fácilmente implementable en la pretemporada de cualquier equipo, que normalmente consta de seis semanas, y que sus ganancias permitieran proteger al jugador frente a acciones potencialmente lesivas para cuando la competición da comienzo y, en consecuencia, se ven aumentadas las demandas físicas. Además, es en pretemporada cuando comúnmente se dedica un mayor tiempo del entrenamiento al desarrollo de la

parte de física, pues es el único momento en que la ausencia de competiciones lo permite. Asimismo, se propone como un programa que, por su corta duración, permite su inclusión en protocolos de calentamiento y resulta altamente compatible con otras intervenciones de optimización de la fuerza o la resistencia; en ningún caso creando interferencias con el rendimiento, como se ha demostrado en su correspondiente artículo de validación (Artículo 4).



---

## CAPÍTULO 6

### PERSPECTIVAS FUTURAS

---

Aparte de las limitaciones inherentes a cualquier investigación cuyos resultados no pueden ser extrapolados más allá de la población y el contexto sujetos de estudio, los hallazgos de la presente tesis igualmente proponen cuestiones sugerentes que podrían ser abordadas en futuras investigaciones. Siguiendo la máxima socrática de que las mejores respuestas son las que conducen a nuevas preguntas, a continuación, se detallan algunas de ellas.

### **6.1 Estudio de diferentes poblaciones y establecimiento de factores de riesgo**

En primer lugar, aunque el objetivo de la tesis era proponer baterías de test e intervenciones que pudieran ser fácilmente implementables en el contexto de cualquier equipo de fútbol, su validez y eficacia en poblaciones de características diferentes a las estudiadas no debe asumirse por los hallazgos encontrados.

En este sentido, futuros estudios podrían ser desarrollados para analizar tanto si los test mantienen los niveles de calidad reportados (i.e. validez, fiabilidad, precisión), como si las intervenciones favorecen las mejoras de calidad de movimiento en futbolistas de diferentes niveles competitivos (i.e. amateur, profesional, élite), así como en mujeres y futbolistas jóvenes (i.e. menores de 16 años). La pregunta es especialmente pertinente en relación a los dos últimos grupos poblacionales, dado que hay numerosa investigación que indica que tanto mujeres como adolescentes podrían estar en un riesgo incrementado de sufrir una lesión de LCA. Posibles diferencias neuromusculares, anatómicas y hormonales, así como las relativas a historiales de entrenamiento en el caso de futbolistas de diferente nivel podrían impedir que, por ejemplo, el *Safe Landing* generara las prometedoras adaptaciones que se demuestran en el grupo poblacional estudiado; esto es, futbolistas semiprofesionales.

Otra interesante línea a explorar sería la realización de estudios longitudinales de cohorte, de modo que una gran cantidad de jugadores de diferentes equipos y, preferiblemente, países (suficiente para poder obtener diferencias significativas) fuera evaluada y seguida de forma prospectiva, de modo que pudieran verse qué variables, si es que las hubiere, consiguen identificar aquellos jugadores en alto riesgo de sufrir una lesión de LCA. Sin embargo, desde mi perspectiva, esta pregunta no debería abordarse mediante estudios prospectivos de cohorte tradicionales, en los que es la evaluación hecha en pretemporada es la que se utiliza para identificar estas variables explicativas, relacionándolas con una lesión que ocurre meses, o incluso a veces años después.

Alternativamente, esta cuestión se debería abordar mediante estudios prospectivos de medidas repetidas, de modo que cada lesión se relacionase con la última evaluación realizada, que no debería distar más de 1 o 2 meses, con el objetivo de limitar las potenciales fluctuaciones en el rendimiento, fisiológicas y neuromusculares. Estas fluctuaciones a menudo se dan como consecuencia natural del transcurso de la temporada competitiva, cuya inherente variabilidad depende de muchos factores, como la densidad de partidos. Es únicamente de esta forma como el investigador podría tener ciertas

garantías de que, efectivamente, el último FR evaluado es representativo del estado actual del jugador en el momento de la lesión.

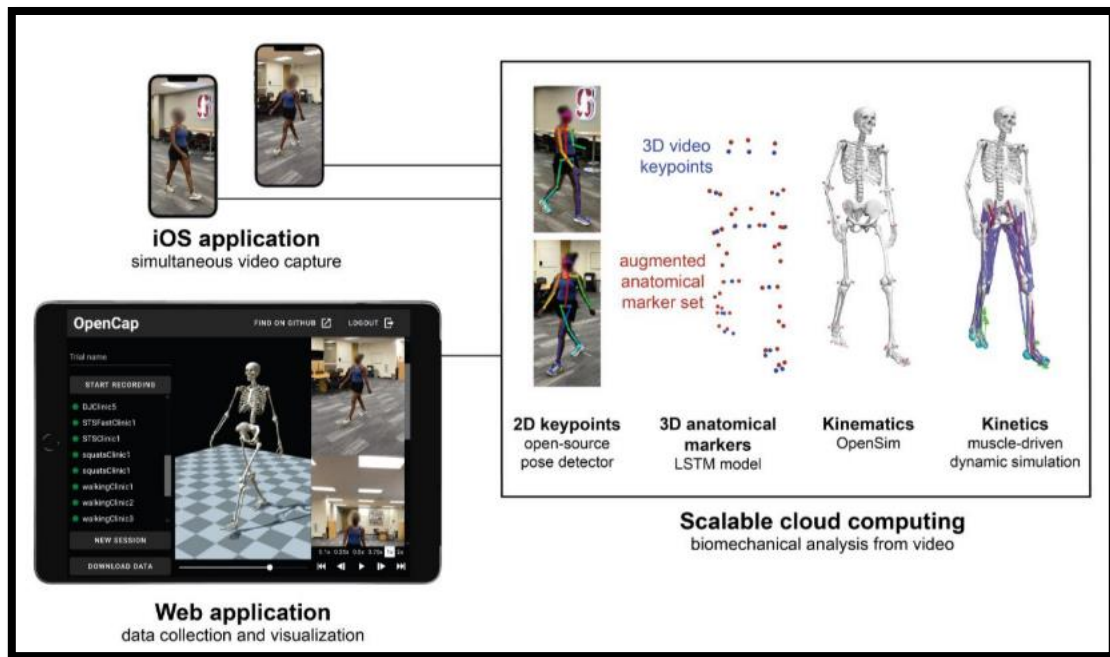
## **6.2 Baterías de test: hacia una mejor caracterización de los mecanismos**

Por otro lado, a lo largo de las investigaciones planteadas y en línea con otras previamente publicadas, se ha presupuesto que los test incluidos (esto es, DJ con LESS y CDD con CMAS) suponen aproximaciones válidas para estimar las cargas asumidas por el LCA en los principales mecanismos lesionales. Sin embargo, como se ha mencionado en secciones anteriores, si bien los test incluidos representan un importante paso al frente respecto a la validez externa de las evaluaciones en comparación a test tradicionales de laboratorio, los mecanismos reales de lesión aún muestran características que a día de hoy no han podido ser recreadas y que, bajo mi criterio, se encuentran aún lejos de serlo.

La ausencia de componentes de anticipación y toma de decisión son las más reseñables. Las lesiones ocurren en situaciones en las que, a menudo, hay un tiempo muy limitado para anticipar los movimientos a ejecutar, lo que parece precipitar la lesión. Estas exigencias de anticipación, además, son efectuadas mayoritariamente por movimientos de finta realizados por un oponente. Investigación reciente plantea estos componentes como vitales para la identificación de riesgos de lesión de LCA. No obstante, desde mi conocimiento, a día de hoy no existen baterías de campo que repliquen estos mecanismos lesionales en un contexto de incertidumbre. Una vez se consiguiera esta replicación, el reto se situará en abordar el ya argumentado posible conflicto entre validez externa (esto es, gran especificidad del mecanismo) y repetibilidad del test, así como en demostrar que el riesgo asumido en la realización del test se ve sobradamente compensado por sus beneficios de diagnóstico.

## **6.3 Aprovechamiento de nuevas tecnologías para evaluaciones más eficientes**

Inmersos en la que podría considerarse la tercera revolución industrial, propiciada por el exponencial avance tecnológico de los últimos años, el ámbito deportivo no queda exento de este desarrollo y también ve multiplicadas sus posibilidades en la evaluación y monitorización del entrenamiento. Sistemas desarrollados en los últimos años como OpenPose (Hébert-Losier et al., 2020) u OpenCap (Figura 22) (Uhlrich et al., 2022) ofrecen la posibilidad de realizar, mediante técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático, análisis biomecánicos complejos con vídeos grabados con teléfonos móviles. Estos análisis, hasta el momento, habían estado limitados a contextos de laboratorio.



**Figura 22.** Sistema OpenCap para el análisis de la biomecánica del movimiento. Extraído de (Uhlrich et al., 2022).

Además, algunos modelos de móviles de última generación comienzan a incorporar tecnologías de mayor complejidad como escáneres LiDAR (Dos’ Santos et al., 2022) que, en el ámbito biomecánico, están aprovechando algunas aplicaciones para realizar análisis de realidad aumentada en tiempo real. Aunque su uso en Ciencias del Deporte es aún incipiente, las prometedoras implicaciones que podrían tener a nivel de ahorro de equipamiento y de tiempo de procesamiento la convierten en una línea de investigación que, indudablemente, merece la pena seguir desarrollando.

Por otro lado, también ligado a este exponencial avance tecnológico, la popularización de sistemas portables cada vez más complejos, los denominados *wereables*, permiten a su vez obtener análisis cinemáticos, cinéticos y electromiográficos, entre otras variables internas, que si bien de momento no sustituyen a los *gold standard* de laboratorio, su potencial uso en contextos reales de entrenamiento y competición la convierten en otra rama que debería ser más profundamente explorada en el futuro y de la que, sin duda, el análisis del movimiento para la prevención de lesión de LCA se vería beneficiada.

#### 6.4 Efectos agudos, adaptaciones y retención del *Safe Landing*

En el estudio experimental que cierra el compendio de artículos se comprobó que el *Safe Landing* es un programa efectivo para mejorar la calidad de movimiento en tareas de DVJ y CDD en futbolistas semiprofesionales. Sin embargo, los mecanismos subyacentes por los que se mejoró la calidad de movimiento son desconocidos a efectos de la presente investigación. Futuros trabajos podrían, mediante análisis pre-post, tratar de dar luz a esta pertinente pregunta que permitiría comprender, por ejemplo, si estas mejoras se deben a

un incremento de los niveles de fuerza de la musculatura de extremidad inferior y/o estabilizadora, o por el contrario a una optimización de los patrones de activación muscular y de coordinación intersegmentaria,

De igual modo, el *Safe Landing* fue propuesto como un programa de prevención de 6 semanas de duración. El motivo por el que se escogió este intervalo temporal fue porque generalmente la duración de la fase de pretemporada en fútbol es de 6 semanas. Incluirlo en esta fase preparatoria de la ulterior fase competitiva tendría un doble beneficio: primero, porque permitiría que el efecto protector de la intervención estuviera presente una vez comenzaran los partidos oficiales, donde presumiblemente y tal cual sugiere la evidencia al respecto existiría un acrecentado riesgo de sufrir una lesión de LCA derivado del incremento de intensidad competitiva. Pero además porque de esta forma, el indeseable efecto de la mialgia diferida comúnmente observada cuando se inician rutinas o intervenciones a las que el jugador no está habituado sería asumido en una fase en la que la prioridad es la adaptación fisiológica y neuromuscular; en contraposición a la fase competitiva, donde la prioridad es mantener un nivel de rendimiento sostenido a lo largo de toda la temporada, y donde la recuperación entre partidos cobra un orden superior de importancia.

No obstante, aquí surgen diversas preguntas: ¿qué duración tienen los beneficios demostrados como efecto de la intervención? ¿Existe un período a partir del cual los valores retornarían a los valores de base? En el caso de que sea así, ¿convendría llevar a cabo, después de estas 6 semanas, un programa de mantenimiento que garantizara la estabilización de estas ganancias a lo largo de la temporada? ¿Cuál sería la mínima dosis efectiva para conseguir este deseable efecto? O aún mejor, ¿se podrían seguir incrementando las ganancias en el caso de alargar el programa? ¿Cuándo ocurriría el efecto “techo”? Preguntas pertinentes que sería interesante abordar en futuras investigaciones.

Para finalizar, en este último estudio se observó cómo a pesar de mejorar la calidad de movimiento, la intervención propuesta no consiguió hacer lo propio respecto al rendimiento de las acciones evaluadas. En este sentido, la pregunta obligada sería: ¿qué componentes adicionales debería incluir para obtener también ganancias a nivel de rendimiento? ¿Merece la pena plantearse aumentar el volumen con este objetivo, o dificultaría esto su implementación por incidir directamente en una problemática real en fútbol, como es el tiempo disponible de entrenamiento? ¿Podría darse el caso de que si la misma intervención se prolongase en el tiempo acabaría siendo también efectiva en términos de rendimiento? Nuevamente, preguntas que requerirían el diseño de otros estudios de investigación complementarios para ser respondidas





---

## CAPÍTULO 7

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

A continuación, se presentan las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo de los diferentes capítulos del manuscrito a excepción del *Capítulo 4*, cuyas listas de referencias están incluidas en los artículos publicados y que confeccionan el núcleo de la tesis doctoral.

- Ahmad-Shushami, A. H., & Abdul-Karim, S. (2020). Incidence of football and futsal injuries among Youth in Malaysian games 2018. *Malaysian Orthopaedic Journal*, 14(1), 28–33. <https://doi.org/10.5704/MOJ.2003.005>
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009a). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 1: Mechanisms of injury and underlying risk factors. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(7), 705–729. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0813-1>
- Alentorn-Geli, E., Myer, G. D., Silvers, H. J., Samitier, G., Romero, D., Lázaro-Haro, C., & Cugat, R. (2009b). Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: A review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(8), 859–879. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0823-z>
- Argibay-González, J. C., Vázquez-Estévez, C., Gutiérrez-Santiago, A., Paramés-González, A., Reguera-López-de-la-Osa, X., & Prieto-Lage, I. (2022). Analysis of Injury Patterns in Men's Football between the English League and the Spanish League. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph191811296>
- Argus, C., Gill, N., & Keogh, J. (2012). Characterization of the differences in strength and power between different levels of competition in rugby union athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2698–2704. [www.nscs.com](http://www.nscs.com)
- Arundale, A. J. H., Bizzini, M., Dix, C., Giordano, A., Kelly, R., Logerstedt, D. S., Mandelbaum, B., Scalzitti, D. A., Silvers-Granelli, H., & Snyder-Mackler, L. (2023). Exercise-Based Knee and Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 53(1), CPG1–CPG34. <https://doi.org/10.2519/jospt.2023.0301>
- Arundale, A. J. H., Silvers-Granelli, H. J., & Myklebust, G. (2022). ACL injury prevention: Where have we come from and where are we going? *Journal of Orthopaedic Research*, 40(1), 43–54. <https://doi.org/10.1002/jor.25058>
- Bahr, R. (2016). Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will.: A critical review. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 50, Issue 13, pp. 776–780). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096256>

- Bahr, R., & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries - A methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 384–392. <https://doi.org/10.1136/bjism.37.5.384>
- Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005a). Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 39, Issue 6, pp. 324–329). <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018341>
- Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005b). Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 39, Issue 6, pp. 324–329). <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018341>
- Beato, M., Maroto-Izquierdo, S., Turner, A. N., & Bishop, C. (2021). Implementing strength training strategies for injury prevention in soccer: Scientific rationale and methodological recommendations. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16, 456–461. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2020-0862>
- Beaulieu, M. L., Lamontagne, M., & Xu, L. (2009). Lower limb muscle activity and kinematics of an unanticipated cutting manoeuvre: A gender comparison. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 17(8), 968–976. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0821-1>
- Benjaminse, A., Gokeler, A., Dowling, A. V., Faigenbaum, A., Ford, K. R., Hewett, T. E., Onate, J. A., Otten, B., & Myer, G. D. (2015). Optimization of the anterior cruciate ligament injury prevention paradigm: Novel feedback techniques to enhance motor learning and reduce injury risk. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(3), 170–182. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.4986>
- Benjaminse, A., & Verhagen, E. (2021). Implementing ACL Injury Prevention in Daily Sports Practice—It’s Not Just the Program: Let’s Build Together, Involve the Context, and Improve the Content. *Sports Medicine*, 51(12), 2461–2467. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01560-4>
- Bisciotti, G. N., Chamari, K., Cena, E., Bisciotti, A., Bisciotti, A., Corsini, A., & Volpi, P. (2019). Anterior cruciate ligament injury risk factors in football. In *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (Vol. 59, Issue 10, pp. 1724–1738). Edizioni Minerva Medica. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09563-X>
- Bizzini, M., Junge, A., & Dvorak, J. (2013). Implementation of the FIFA 11+ football warm up program: How to approach and convince the Football associations to invest in prevention. *British Journal of Sports Medicine*, 47(12), 803–806. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092124>
- Boden, B. P., & Sheehan, F. T. (2022). Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021. In *Journal of Orthopaedic Research* (Vol. 40, Issue 3, pp. 531–540). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/jor.25257>

- Brophy, R. H., Stepan, J. G., Silvers, H. J., & Mandelbaum, B. R. (2015). Defending Puts the Anterior Cruciate Ligament at Risk During Soccer: A Gender-Based Analysis. *Sports Health, 7*(3), 244–249. <https://doi.org/10.1177/1941738114535184>
- Buchheit, M., Lacombe, M., & Simpson, B. (2018). Sport-Specific Application of High-Intensity Interval Training: Soccer. In P. Laursen & M. Buchheit (Eds.), *Since and Application of High-Intensity Interval Training: Solutions to the programming puzzle* (pp. 547–564). Human Kinetics.
- Caraffa, A., Cerulli, G., Proietti, M., Aisa, G., & Rizzo, A. (1996). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg, Sports Traumatol, 4*, 19–21.
- Cordinalesi, E. (2018). Relación entre la Inclinación Posterior de la Tibia Proximal y la Inclinación Meniscal. Estudio Anatómico en Resonancia Magnética. *Artroscopia, 25*(2), 35–39.
- Dai, B., Mao, D., Garrett, W. E., & Yu, B. (2014). Anterior cruciate ligament injuries in soccer: Loading mechanisms, risk factors, and prevention programs. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 3, Issue 4, pp. 299–306). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.06.002>
- De Carli, A., Koverech, G., Gaj, E., Marzilli, F., Fantoni, F., Liberati Petrucci, G., Lorenzon, F., & Ferretti, A. (2021). Assessing causation in sport injury: A multifactorial model. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- Della Villa, F., Buckthorpe, M., Grassi, A., Nabiuzzi, A., Tosarelli, F., Zaffagnini, S., & Della Villa, S. (2020). Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine, 54*(23), 1423–1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>
- Della Villa, F., Häggglund, M., Della Villa, S., Ekstrand, J., & Waldén, M. (2021). High rate of second ACL injury following ACL reconstruction in male professional footballers: an updated longitudinal analysis from 118 players in the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine, 55*(23), 1350–1356. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103555>
- Di Paolo, S., Nijmeijer, E. M., Bragonzoni, L., Gokeler, A., & Benjaminse, A. (2023). Definition of High-Risk Motion Patterns for Female ACL Injury Based on Football-Specific Field Data: A Wearable Sensors Plus Data Mining Approach. *Sensors, 23*(4). <https://doi.org/10.3390/s23042176>
- Dischiavi, S. L., Wright, A. A., Heller, R. A., Love, C. E., Salzman, A. J., Harris, C. A., & Bleakley, C. M. (2022). Do ACL Injury Risk Reduction Exercises Reflect Common Injury Mechanisms? A Scoping Review of Injury Prevention Programs. *Sports Health, 14*(4), 592–600. <https://doi.org/10.1177/19417381211037966>

- Dolci, F., Hart, N. H., Kilding, A. E., Chivers, P., Piggott, B., & Spiteri, T. (2020). Physical and Energetic Demand of Soccer: A Brief Review. *Strength and Conditioning Journal*, 42(3). <http://journals.lww.com/nsca-scj>
- Donelon, T. A., Dos'Santos, T., Pitchers, G., Brown, M., & Jones, P. A. (2020). Biomechanical Determinants of Knee Joint Loads Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading During Cutting: A Systematic Review and Technical Framework. In *Sports Medicine - Open* (Vol. 6, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00276-5>
- Dos'Santos, T., Cowling, I., Challoner, M., Barry, T., & Caldbeck, P. (2022). What are the significant turning demands of match play of an English Premier League soccer team? *Journal of Sports Sciences*, 40(15), 1750–1759. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2109355>
- Dos'Santos, T., McBurnie, A., Donelon, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019). A qualitative screening tool to identify athletes with 'high-risk' movement mechanics during cutting: The cutting movement assessment score (CMAS). *Physical Therapy in Sport*, 38, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.05.004>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. (2019a). The Role of the Penultimate Foot Contact During Change of Direction: Implications on Performance and Risk of Injury. *Strength and Conditioning Journal*.
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019b). The Effect of Training Interventions on Change of Direction Biomechanics Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading: A Scoping Review. *Sports Medicine*, 49(12), 1837–1859. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01171-0>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2021). Biomechanical Effects of a 6-Week Change-of-Direction Technique Modification Intervention on Anterior Cruciate Ligament Injury Risk. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 20133–20144. [www.nsca.com](http://www.nsca.com)
- Dos'Santos, T., Thomas, C., McBurnie, A., Donelon, T., Herrington, L., & Jones, P. A. (2021). The Cutting Movement Assessment Score (CMAS) Qualitative Screening Tool: Application to Mitigate Anterior Cruciate Ligament Injury Risk during Cutting. In *Biomechanics (Switzerland)* (Vol. 1, Issue 1, pp. 83–101). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/biomechanics1010007>
- Dos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2021). *Biomechanical Effects of a 6-Week Change of Direction Speed and Technique Modification Intervention: Implications for Change of Direction Side step Performance*. [www.nsca.com](http://www.nsca.com)

- Dugdale, J. H., Arthur, C. A., Sanders, D., & Hunter, A. M. (2019). Reliability and validity of field-based fitness tests in youth soccer players. *European Journal of Sport Science, 19*(6), 745–756. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1556739>
- Dugdale, J. H., Sanders, D., & Hunter, A. M. (2020). Reliability of change of direction and agility assessments in youth soccer players. *Sports, 8*(4). <https://doi.org/10.3390/sports8040051>
- Eirale, C., Tol, J. L., Farooq, A., Smiley, F., & Chalabi, H. (2013). Low injury rate strongly correlates with team success in Qatari professional football. *British Journal of Sports Medicine, 47*(12), 807–808. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091040>
- Ekstrand, J., Krutsch, W., Spreco, A., Van Zoest, W., Roberts, C., Meyer, T., & Bengtsson, H. (2020). Time before return to play for the most common injuries in professional football: A 16-year follow-up of the UEFA Elite Club Injury Study. *British Journal of Sports Medicine, 54*(7), 421–426. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100666>
- Ekstrand, J., Spreco, A., Bengtsson, H., & Bahr, R. (2021). Injury rates decreased in men's professional football: An 18-year prospective cohort study of almost 12 000 injuries sustained during 1.8 million hours of play. *British Journal of Sports Medicine, 55*(19), 1084–1091. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103159>
- Eliakim, E., Morgulev, E., Lidor, R., & Meckel, Y. (2020). Estimation of injury costs: Financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine, 6*(1). <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000675>
- Engebretsen, L., Soligard, T., Steffen, K., Alonso, J. M., Aubry, M., Budgett, R., Dvorak, J., Jegathesan, M., Meeuwisse, W. H., Mountjoy, M., Palmer-Green, D., Vanhegan, I., & Renström, P. A. (2013). Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. *British Journal of Sports Medicine, 47*(7), 407–414. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092380>
- Fältström, A., Kvist, J., Bittencourt, N. F. N., Mendonça, L. D., & Hägglund, M. (2021). Clinical Risk Profile for a Second Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Soccer Players After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *American Journal of Sports Medicine, 49*(6), 1421–1430. <https://doi.org/10.1177/0363546521999109>
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences, 30*(7), 625–631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Fédération Internationale de Football Association (FIFA). (2007). *FIFA Big Count 2006: 270 million people active in football*.

- Fíltér, A., Olivares, J., Molina, A., Morente-Sánchez, J., Robles, J., Nakamura, F. Y., Santalla, A., Loturco, I., & Requena, B. (2022). Reliability and usefulness of maximum soccer-specific jump test: a valid and cost-effective system to measure on soccer field. *Sports Biomechanics*.  
<https://doi.org/10.1080/14763141.2021.2024244>
- Finch, C. (2006). A new framework for research leading to sports injury prevention. In *Journal of Science and Medicine in Sport* (Vol. 9, Issues 1–2, pp. 3–9).  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.02.009>
- Folgado, H., Duarte, R., Marques, P., & Sampaio, J. (2015). The effects of congested fixtures period on tactical and physical performance in elite football. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1238–1247.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022576>
- Ford, K. R., DiCesare, C. A., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2015). Real-time biofeedback to target risk of anterior cruciate ligament injury: a technical report for injury prevention and rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation, Technical Notes* 13.  
<https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0138>
- Forsythe, B., Lavoie-Gagne, O. Z., Forlenza, E. M., Diaz, C. C., & Mascarenhas, R. (2021). Return-to-Play Times and Player Performance After ACL Reconstruction in Elite UEFA Professional Soccer Players: A Matched-Cohort Analysis From 1999 to 2019. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(5).  
<https://doi.org/10.1177/23259671211008892>
- Fox, A. S. (2018). Change-of-Direction Biomechanics: Is What’s Best for Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Also Best for Performance? In *Sports Medicine* (Vol. 48, Issue 8, pp. 1799–1807). Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-0931-3>
- Georgiades, E., Klissouras, V., Baulch, J., Wang, G., & Pitsiladis, Y. (2017). Why nature prevails over nurture in the making of the elite athlete. *BMC Genomics*, 18.  
<https://doi.org/10.1186/s12864-017-4190-8>
- Gokeler, A., Benjaminse, A., Della Villa, F., Tosarelli, F., Verhagen, E., & Baumeister, J. (2021). Anterior cruciate ligament injury mechanisms through a neurocognition lens: Implications for injury screening. In *BMJ Open Sport and Exercise Medicine* (Vol. 7, Issue 2). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2021-001091>
- Grassi, A., Smiley, S. P., Roberti di Sarsina, T., Signorelli, C., Marcheggiani Muccioli, G. M., Bondi, A., Romagnoli, M., Agostini, A., & Zaffagnini, S. (2017). Mechanisms and situations of anterior cruciate ligament injuries in professional male soccer players: a YouTube-based video analysis. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*, 27(7), 967–981. <https://doi.org/10.1007/s00590-017-1905-0>

- Grimm, N. L., Jacobs, J. C., Kim, J., Denney, B. S., & Shea, K. G. (2015). Anterior Cruciate Ligament and Knee Injury Prevention Programs for Soccer Players: A Systematic Review and Meta-analysis. In *American Journal of Sports Medicine* (Vol. 43, Issue 8, pp. 2049–2056). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/0363546514556737>
- Grindem, H., Snyder-Mackler, L., Moksnes, H., Engebretsen, L., & Risberg, M. A. (2016). Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: The Delaware-Oslo ACL cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(13), 804–808. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096031>
- Gupta, A. S., Pierpoint, L. A., Comstock, R. D., & Saper, M. G. (2020). Sex-Based Differences in Anterior Cruciate Ligament Injuries Among United States High School Soccer Players: An Epidemiological Study. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *8*(5). <https://doi.org/10.1177/2325967120919178>
- Hägglund, M., Waldén, M., & Ekstrand, J. (2016). Injury recurrence is lower at the highest professional football level than at national and amateur levels: Does sports medicine and sports physiotherapy deliver? *British Journal of Sports Medicine*, *50*(12), 751–758. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095951>
- Hägglund, M., Waldén, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H., & Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football: An 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British Journal of Sports Medicine*, *47*(12), 738–742. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092215>
- Harper, D. J., Sandford, G. N., Clubb, J., Young, M., Taberner, M., Rhodes, D., Carling, C., & Kiely, J. (2021). Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020: What has evolved and what needs to evolve? In *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* (Vol. 31, Issue 2, pp. 493–494). Blackwell Munksgaard. <https://doi.org/10.1111/sms.13876>
- Hasani, S., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2022). Familial Predisposition to Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review with Meta-analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 52, Issue 11, pp. 2657–2668). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01711-1>
- Hashemi, J., Chandrashekar, N., Mansouri, H., Gill, B., Slauterbeck, J. R., Schutt, R. C., Dabezies, E., & Beynon, B. D. (2010). Shallow medial tibial plateau and steep medial and lateral tibial slopes: New risk factors for anterior cruciate ligament injuries. *American Journal of Sports Medicine*, *38*(1), 54–62. <https://doi.org/10.1177/0363546509349055>
- Havens, K. L., & Sigward, S. M. (2015). Cutting mechanics: Relation to performance and anterior cruciate ligament injury risk. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *47*(4), 818–824. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000470>



- Hébert-Losier, K., Hanzlíková, I., Zheng, C., Streeter, L., & Mayo, M. (2020). The “DEEP” landing error scoring system. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(3).  
<https://doi.org/10.3390/app10030892>
- Heidt, R. S., Sweeterman, L. M., Carlonas, R. L., Traub, J. A., & Tekulve, F. X. (2000). Avoidance of Soccer Injuries with Preseason Conditioning. In *THE AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE* (Vol. 28, Issue 5).
- Hewett, T. E. (2000). Neuromuscular and Hormonal Factors Associated With Knee Injuries in Female Athletes: Strategies for Intervention. *Sports Medicine*, *29*(5), 313–327.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2006). Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 1, mechanisms and risk factors. In *American Journal of Sports Medicine* (Vol. 34, Issue 2, pp. 299–311).  
<https://doi.org/10.1177/0363546505284183>
- Imwalle, L. E., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2009). Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to anterior cruciate ligament injury and prevention. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(8), 2223–2230. [www.nscj-jscr.org](http://www.nscj-jscr.org)
- Jones, A. (2017). *A preliminary investigation into a qualitative assessment tool to identify athletes with high knee abduction moments during cutting : Cutting Movement Assessment Score (CMAS)*.
- Junge, A., Langevoort, G., Pipe, A., Peytavin, A., Wong, F., Mountjoy, M., Beltrami, G., Terrell, R., Holzgraefe, M., Charles, R., & Dvorak, J. (2006). Injuries in team sport tournaments during the 2004 olympic games. *American Journal of Sports Medicine*, *34*(4), 565–576. <https://doi.org/10.1177/0363546505281807>
- Kim, S. K., Nguyen, C., Avins, A. L., Abrams, G. D., & Jt, B. (2021). *Three genes associated with anterior and posterior cruciate ligament injury: a genome-wide association analysis*. *2*(6), 414–421. <https://doi.org/10.1302/2633-1462.26.BJO>
- Krosshaug, T., Andersen, T. E., Olsen, O. E. O., Myklebust, G., & Bahr, R. (2005). Research approaches to describe the mechanisms of injuries in sport: Limitations and possibilities. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 39, Issue 6, pp. 330–339). <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018358>
- Krutsch, W., Krutsch, V., Hilber, F., Pfeifer, C., Baumann, F., Weber, J., Schmitz, P., Kerschbaum, M., Nerlich, M., & Angele, P. (2018). 11361 sports injuries in a 15-year survey of a Level I emergency trauma department reveal different severe injury types in the 6 most common team sports. *Sportverletzung-Sportschaden*, *32*(2), 111–119. <https://doi.org/10.1055/s-0583-3792>
- Krutsch, W., Lehmann, J., Jansen, P., Angele, P., Fellner, B., Achenbach, L., Krutsch, V., Nerlich, M., Alt, V., & Loose, O. (2020). Prevention of severe knee injuries in men’s

elite football by implementing specific training modules. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(2), 519–527. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05706-w>

- LaBella, C. R., Huxford, M. R., Grissom, J., Kim, K.-Y., Peng, J., & Kaufer Christoffel, K. (2011). Effect of Neuromuscular Warm-up on Injuries in Female Soccer and Basketball Athletes in Urban Public High Schools Cluster Randomized Controlled Trial. In *Arch Pediatr Adolesc Med* (Vol. 165, Issue 11). [www.archpediatrics.com](http://www.archpediatrics.com)
- Larruskain, J., Lekue, J. A., Martin-Garetxana, I., Barrio, I., McCall, A., & Gil, S. M. (2022). Injuries are negatively associated with player progression in an elite football academy. *Science and Medicine in Football*, 6(4), 405–414. <https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1943756>
- Lauersen, J. B., Andersen, T. E., & Andersen, L. B. (2018). Strength training as superior, dose-dependent and safe prevention of acute and overuse sports injuries: A systematic review, qualitative analysis and meta-analysis. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 52, Issue 24, pp. 1557–1563). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099078>
- Laughlin, W. A., Weinhandl, J. T., Kernozek, T. W., Cobb, S. C., Keenan, K. G., & O'connor, K. M. (2011). The effects of single-leg landing technique on ACL loading. *Journal of Biomechanics*, 44(10), 1845–1851. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.04.010>
- Loose, O., Fellner, B., Lehmann, J., Achenbach, L., Krutsch, V., Gerling, S., Jansen, P., Angele, P., Nerlich, M., & Krutsch, W. (2019). Injury incidence in semi-professional football claims for increased need of injury prevention in elite junior football. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 27(3), 978–984. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5119-8>
- López-Valenciano, A., Raya-González, J., Garcia-Gómez, J. A., Aparicio-Sarmiento, A., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Ayala, F. (2021). Injury Profile in Women's Football: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 51, Issue 3, pp. 423–442). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01401-w>
- Lucarno, S., Zago, M., Buckthorpe, M., Grassi, A., Tosarelli, F., Smith, R., & Della Villa, F. (2021). Systematic Video Analysis of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Professional Female Soccer Players. *American Journal of Sports Medicine*, 49(7), 1794–1802. <https://doi.org/10.1177/03635465211008169>
- Magnusson, K., Turkiewicz, A., Hughes, V., Frobell, R., & Englund, M. (2021). High genetic contribution to anterior cruciate ligament rupture: Heritability ~69%. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 55, Issue 7, pp. 385–389). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102392>

- Maniar, N., Cole, M. H., Bryant, A. L., & Opar, D. A. (2022). Muscle Force Contributions to Anterior Cruciate Ligament Loading. In *Sports Medicine* (Vol. 52, Issue 8, pp. 1737–1750). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01674-3>
- Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A. M., & Slauterbeck, J. L. (1995). Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*, *13*(6), 930–935. <https://doi.org/10.1002/jor.1100130618>
- Mazza, D., Viglietta, E., Monaco, E., Iorio, R., Marzilli, F., Princi, G., Massafra, C., & Ferretti, A. (2022). Impact of Anterior Cruciate Ligament Injury on European Professional Soccer Players. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *10*(2). <https://doi.org/10.1177/23259671221076865>
- McAuley, A. B. T., Hughes, D. C., Tsaprouni, L. G., Varley, I., Suraci, B., Roos, T. R., Herbert, A. J., Jackson, D. T., & Kelly, A. L. (2023). A Systematic Review of the Genetic Predisposition to Injury in Football. In *Journal of Science in Sport and Exercise* (Vol. 5, Issue 2, pp. 97–115). Springer. <https://doi.org/10.1007/s42978-022-00187-9>
- McKay, C. D., & Verhagen, E. (2016). “Compliance” versus “adherence” in sport injury prevention: Why definition matters. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 50, Issue 7, pp. 382–383). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095192>
- Meeuwse, W. H. (1994). Assessing Causation in Sport Injury: A Multifactorial Model. *Clinical Journal of Sports Medicine*, *4*, 166–170.
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(11), 3921–3930. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2379-8>
- Nader, G. A. (2006). Concurrent strength and endurance training: From molecules to man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *38*(11), 1965–1970. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000233795.39282.33>
- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in Soccer: Part I-post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Medicine*, *42*(12), 997–1015. <https://doi.org/10.2165/11635270-000000000-00000>
- O’Brien, J., Young, W., & Finch, C. F. (2017). The use and modification of injury prevention exercises by professional youth soccer teams. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *27*(11), 1337–1346. <https://doi.org/10.1111/sms.12756>

- O'Connell, N. S., Dai, L., Jiang, Y., Speiser, J. L., Ward, R., Wei, W., Carroll, R., & Gebregziabher, M. (2017). Methods for Analysis of Pre-Post Data in Clinical Research: A Comparison of Five Common Methods. *Journal of Biometrics & Biostatistics*, *08*(01). <https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000334>
- Øiestad, B. E., Holm, I., Aune, A. K., Gunderson, R., Myklebust, G., Engebretsen, L., Aarsland Fosdahl, M., & Risberg, M. A. (2010). Knee function and prevalence of knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective study with 10 to 15 years of follow-up. *American Journal of Sports Medicine*, *38*(11), 2201–2210. <https://doi.org/10.1177/0363546510373876>
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: Cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal*, *330*(7489), 449–452. <https://doi.org/10.1136/bmj.38330.632801.8F>
- Padua, D. A., Marshall, S. W., Boling, M. C., Thigpen, C. A., Garrett, W. E., & Beutler, A. I. (2009). The Landing Error Scoring System (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics: The jump-ACL Study. *American Journal of Sports Medicine*, *37*(10), 1996–2002. <https://doi.org/10.1177/0363546509343200>
- Page, R. M., Field, A., Langley, B., Harper, L. D., & Julian, R. (2023). The Effects of Fixture Congestion on Injury in Professional Male Soccer: A Systematic Review. In *Sports Medicine* (Vol. 53, Issue 3, pp. 667–685). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01799-5>
- Petersen, W., Braun, C., Bock, W., Schmidt, K., Weimann, A., Drescher, W., Eiling, E., Stange, R., Fuchs, T., Hedderich, J., & Zantop, T. (2005). A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, *125*(9), 614–621. <https://doi.org/10.1007/s00402-005-0793-7>
- Pillay, L., Burgess, D., van Rensburg, D. C. J., Kerkhoffs, G. M., & Gouttebarga, V. (2022). The congested International Match Calendar in football: views of 1055 professional male players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *14*(1). <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00597-w>
- Porta, M. (2014). *A dictionary of epidemiology*. Oxford University press.
- Posthumus, M., September, A. V., Keegan, M., O'Cuinneagain, D., Van Der Merwe, W., Schwellnus, M. P., & Collins, M. (2009). Genetic risk factors for anterior cruciate ligament ruptures: COL1A1 gene variant. *British Journal of Sports Medicine*, *43*(5), 352–356. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.056150>
- Powers, C. M. (2010). The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: A biomechanical perspective. In *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*

(Vol. 40, Issue 2, pp. 42–51). Movement Science Media.  
<https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3337>

- Prieto-Lage, I., Argibay-González, J. C., Paramés-González, A., Pichel-Represas, A., Bermúdez-Fernández, D., & Gutiérrez-Santiago, A. (2022). Patterns of injury in the Spanish football league players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph19010252>
- Pulici, L., Certa, D., Zago, M., Volpi, P., & Esposito, F. (2023). Injury Burden in Professional European Football (Soccer): Systematic Review, Meta-Analysis, and Economic Considerations. In *Clinical Journal of Sport Medicine* (Vol. 33, Issue 4, pp. 450–457). Lippincott Williams and Wilkins.  
<https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001107>
- Rekik, R. N., Bahr, R., Cruz, F., Read, P., Whiteley, R., D’hooghe, P., Tabben, M., & Chamari, K. (2023). Mechanisms of ACL injuries in men’s football: A systematic video analysis over six seasons in the Qatari professional league. *Biology of Sport*, *40*(2), 575–586. <https://doi.org/10.5114/BIOLSPORT.2023.118024>
- Requejo-Herrero, P., Pineda-Galan, C., & Medina-Porqueres, I. (2023). Anterior cruciate ligament ruptures in Spanish soccer first division: An epidemiological retrospective study. *Knee*, *41*, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2022.11.014>
- Robles-Palazón, F. J., López-Valenciano, A., De Ste Croix, M., Oliver, J. L., García-Gómez, A., Sainz de Baranda, P., & Ayala, F. (2022). Epidemiology of injuries in male and female youth football players: A systematic review and meta-analysis. In *Journal of Sport and Health Science* (Vol. 11, Issue 6, pp. 681–695). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.10.002>
- Rodas, G., Cáceres, A., Ferrer, E., Balagué-Dobón, L., Osaba, L., Lucia, A., & González, J. R. (2023). Sex Differences in the Association between Risk of Anterior Cruciate Ligament Rupture and COL5A1 Polymorphisms in Elite Footballers. *Genes*, *14*(1). <https://doi.org/10.3390/genes14010033>
- Ruas, C. V., Pinto, R. S., Haff, G. G., Lima, C. D., Pinto, M. D., & Brown, L. E. (2019). Alternative Methods of Determining Hamstrings-to-Quadriceps Ratios: a Comprehensive Review. In *Sports Medicine - Open* (Vol. 5, Issue 1). Springer.  
<https://doi.org/10.1186/s40798-019-0185-0>
- Sadigursky, D., Braid, J. A., De Lira, D. N. L., Machado, B. A. B., Carneiro, R. J. F., & Colavolpe, P. O. (2017). The FIFA 11+ injury prevention program for soccer players: A systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *9*(1). <https://doi.org/10.1186/s13102-017-0083-z>
- Sandon, A., Krutsch, W., Alt, V., & Forssblad, M. (2022). Increased occurrence of ACL injuries for football players in teams changing coach and for players going to a higher division. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *30*(4), 1380–1387. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06604-w>

- Shrier, I., Impellizzeri, F. M., & Stovitz, S. D. (2023). Prevention versus Risk Reduction or Mitigation: Why create unnecessary battles? *SportRxiv*.
- Silva, J. R., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Castagna, C., Farooq, A., Girard, O., & Hader, K. (2018). Acute and Residual Soccer Match-Related Fatigue: A Systematic Review and Meta-analysis. In *Sports Medicine* (Vol. 48, Issue 3, pp. 539–583). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0798-8>
- Silvers-Graneli, H., Mandelbaum, B., Adeniji, O., Insler, S., Bizzini, M., Pohlig, R., Junge, A., Snyder-Mackler, L., & Dvorak, J. (2015). Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2628–2637. <https://doi.org/10.1177/0363546515602009>
- Singal, A. G., Higgins, P. D. R., & Waljee, A. K. (2014). A primer on effectiveness and efficacy trials. *Clinical and Translational Gastroenterology*, 5. <https://doi.org/10.1038/ctg.2013.13>
- Sterne, J. A., Hernán, M. A., Reeves, B. C., Savović, J., Berkman, N. D., Viswanathan, M., Henry, D., Altman, D. G., Ansari, M. T., Boutron, I., Carpenter, J. R., Chan, A. W., Churchill, R., Deeks, J. J., Hróbjartsson, A., Kirkham, J., Jüni, P., Loke, Y. K., Pigott, T. D., ... Higgins, J. P. (2016). ROBINS-I: A tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ (Online)*, 355. <https://doi.org/10.1136/bmj.i4919>
- Sterne, J. A., Savović, J., Page, M. J., Elbers, R. G., Blencowe, N. S., Boutron, I., Cates, C. J., Cheng, H. Y., Corbett, M. S., Eldridge, S. M., Emberson, J. R., Hernán, M. A., Hopewell, S., Hróbjartsson, A., Junqueira, D. R., Jüni, P., Kirkham, J. J., Lasserson, T., Li, T., ... Higgins, J. P. T. (2019). RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *The BMJ*, 366. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898>
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of Soccer An Update. *Sports Med*, 35(6), 501–536.
- Stovitz, S. D., & Shrier, I. (2015). Injury rates in team sport events: tackling challenges in assessing exposure time. *British Journal of Sports Medicine*. <http://bjsm.bmj.com/>
- Straub, R. K., & Powers, C. M. (2023). Is muscular strength a predictor for primary or secondary ACL injury? A scoping review of prospective studies. In *Physical Therapy in Sport* (Vol. 61, pp. 91–101). Churchill Livingstone. <https://doi.org/10.1016/j.pts.2023.03.004>
- Sugimoto, D., Alentorn-Geli, E., Mendiguchía, J., Samuelsson, K., Karlsson, J., & Myer, G. D. (2015). Biomechanical and Neuromuscular Characteristics of Male Athletes: Implications for the Development of Anterior Cruciate Ligament Injury Prevention Programs. In *Sports Medicine* (Vol. 45, Issue 6, pp. 809–822). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0311-1>

- Svantesson, E., Hamrin Senorski, E., Webster, K. E., Karlsson, J., Diermeier, T., Rothrauff, B. B., Meredith, S. J., Rauer, T., Irrgang, J. J., Spindler, K. P., Ma, C. B., Musahl, V., the Panther Symposium ACL Injury Clinical Outcomes Consensus Group, Fu, F. H., Ayeni, O. R., Della Villa, F., Della Villa, S., Dye, S., Ferretti, M., ... Hao Zheng, M. (2020). Clinical Outcomes After Anterior Cruciate Ligament Injury: Panther Symposium ACL Injury Clinical Outcomes Consensus Group. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(7). <https://doi.org/10.1177/2325967120934751>
- Szymiski, D., Achenbach, L., Zellner, J., Weber, J., Koch, M., Zeman, F., Huppertz, G., Pfeifer, C., Alt, V., & Krutsch, W. (2022). Higher risk of ACL rupture in amateur football compared to professional football: 5-year results of the 'Anterior cruciate ligament-registry in German football.' *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 30(5), 1776–1785. <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06737-y>
- Tabben, M., Eirale, C., Singh, G., Al-Kuwari, A., Ekstrand, J., Chalabi, H., Bahr, R., & Chamari, K. (2022). Injury and illness epidemiology in professional Asian football: Lower general incidence and burden but higher ACL and hamstring injury burden compared with Europe. *British Journal of Sports Medicine*, 56(1), 18–23. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102945>
- Torrontegui-Duarte, M., Gijon-Nogueron, G., Perez-Frias, J. C., Morales-Asencio, J. M., & Luque-Suarez, A. (2020). Incidence of injuries among professional football players in Spain during three consecutive seasons: A longitudinal, retrospective study. *Physical Therapy in Sport*, 41, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.11.008>
- Turner, A. P., Barlow, J. H., & Heathcote-Elliot, C. (2000). Long term health impact of playing professional football in the United Kingdom. *British Journal of Sports Medicine*, 34(5), 332–337. <https://doi.org/10.1136/bjism.34.5.332>
- Uhlrich, S. D., Falisse, A., Kidziński, Ł., Muccini, J., Ko, M., Chaudhari, A. S., Hicks, J. L., Delp, S. L., & Uhlrich, S. (2022). OpenCap: 3D human movement dynamics from smartphone videos. *BioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.07.07.499061>
- Van Meche, W., En, /, Obil, H. H. /, & Kemper, H. C. (1992). Incidence, Severity, Aetiology and Prevention of Sports Injuries A Review of Concepts. In *REVIEW ARTICLE Sports Medicine* (Vol. 14, Issue 2).
- Verhagen, E., Van Dyk, N., Clark, N., & Shrier, I. (2018). Do not throw the baby out with the bathwater; Screening can identify meaningful risk factors for sports injuries. In *British Journal of Sports Medicine* (Vol. 52, Issue 19, pp. 1223–1224). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098547>
- Waldén, M., Hägglund, M., Werner, J., & Ekstrand, J. (2011). The epidemiology of anterior cruciate ligament injury in football (soccer): A review of the literature from a gender-related perspective. In *Knee Surgery, Sports Traumatology*,

*Arthroscopy* (Vol. 19, Issue 1, pp. 3–10). Springer Verlag.  
<https://doi.org/10.1007/s00167-010-1172-7>

Waldén, M., Krosshaug, T., Bjørneboe, J., Andersen, T. E., Faul, O., & Häggglund, M. (2015). Three distinct mechanisms predominate in noncontact anterior cruciate ligament injuries in male professional football players: A systematic video analysis of 39 cases. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(22), 1452–1460.  
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094573>

Watkins, C. M., Storey, A. G., Mcguigan, M. R., & Gill, N. D. (2021). *Implementation and Efficacy of Plyometric Training: Bridging the Gap Between Practice and Research*. [www.nasca.com](http://www.nasca.com)

Webster, K. E., & Hewett, T. E. (2018). Meta-analysis of meta-analyses of anterior cruciate ligament injury reduction training programs. *Journal of Orthopaedic Research*, *36*(10), 2696–2708. <https://doi.org/10.1002/jor.24043>

Whyte, E. F., Richter, C., O'connor, S., & Moran, K. A. (2018). The effect of high intensity exercise and anticipation on trunk and lower limb biomechanics during a crossover cutting manoeuvre. *Journal of Sports Sciences*, *36*(8), 889–900.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1346270>

Wilson, J. M. G., & Jungner, G. (1968). Principles and practice of screening for disease. *Public Health Papers*.



**CURRÍCULUM VITAE****A. DATOS PERSONALES**

Nombre	<b>Jesús</b>
Apellidos	<b>Olivares Jabalera</b>
Sexo (*)	<b>Hombre</b>
Fecha de nacimiento	<b>14/03/1995</b>
DNI, NIE, pasaporte	<b>75261014T</b>
Dirección email	<b>jesusyolivares@gmail.com</b>
Open Researcher and Contributor ID (ORCID)	<b>0000-0003-4748-4578</b>

**A.1. Situación profesional actual**

Puesto	<b>Preparador físico principal</b>
Fecha inicio	<b>01/09/2022</b>
Organismo/ Institución	<b>Estoril Praia SAD</b>
Departamento/ Centro	<b>Departamento de rendimiento</b>
País	<b>Portugal</b>
Teléfono	<b>+351 21 466 1002</b>

**A.2. Situación profesional anterior**

Período	Puesto / Institución / País
Marzo-Septiembre 2022	<b>Preparador físico principal</b> / ADO Den Haag / Holanda
Agosto 2021-Marzo 2022	<b>Científico deportivo</b> / Estoril Praia SAD / Portugal
Agosto 2021-Marzo 2022	<b>Preparador físico principal</b> / FC Cubillas "B" / España
Junio 2019-Marzo 2022	<b>Preparador físico de opositores y entrenador personal</b> / Autónomo / España
2017-2020	<b>Redactor de contenido</b> en la plataforma online Jornada Perfecta
Junio-Septiembre 2016	<b>Socorrista acuático</b> / Ayuntamiento de Vélez-Rubio / España
Junio-Septiembre 2014	<b>Socorrista acuático</b> / Ayuntamiento de Vélez-Rubio / España

**A.3. Formación Académica**

Formación	Universidad / País	Año
Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte	Universidad de Granada / España	2014-2018
Máster en Investigación en Actividad Física y Deporte	Universidad de Granada / España	2018-2019
Máster de Preparación física en Fútbol	Football Science Institute / España	2019-2020
Doctorado en Biomedicina	Universidad de Granada / España	2019-Actualidad

**B. LISTADO DE APORTACIONES MÁS RELEVANTES**

## **B1. Publicaciones científicas**

- Gutiérrez-Dávila, M., Olivares, J., Pancorbo, D., & Rojas, F.J. (2016). Efecto de la acción posterior a la recepción sobre la amortiguación de los saltos verticales. *Biomecánica*, 24: 24-31.
- Gutiérrez-Dávila, M., Olivares, J., Pancorbo, D., & Rojas, F.J. (2019). Amortiguación de los saltos verticales según el propósito del movimiento deportivo posterior. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 73(19): 19-32.
- Filter, A., Olivares, J., Santalla, A., Nakamura, F. Y., Loturco, I., & Requena, B. (2019). New curve sprint test for soccer players: Reliability and relationship with linear sprint. *J Sports Sci*, 1-6. doi:10.1080/02640414.2019.1677391
- Filter, A., Olivares-Jabalera, J., Santalla, A., Morente-Sánchez, J., Robles-Rodríguez, J., Requena, B., & Loturco, I. (2020). Curve sprinting in Soccer: Kinematic and Neuromuscular Analysis. *Int J Sports Med*, 41: 1-7.
- Loturco, I., Pereira, L.A., Fílter, A., Olivares-Jabalera, A., Reis, V.P., Fernandes, V., Freitas, T.T. & Requena, B. (2020). Curve sprinting in soccer: relationship with linear sprints and vertical jump performance. *Biol. Sport*, 37(3): 277-283. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2020.96271>
- Fílter, A., Olivares-Jabalera, J., Molina-Molina, A., Suárez-Arrones, L., Robles, J., Dos Santos, T., Loturco, I., Requena, B., & Santalla, A. (2021). Effect of ball inclusion on jump performance in soccer players: a biomechanical approach. *Science and Medicine in Football*, 00(00), 1–7. <https://doi.org/10.1080/24733938.2021.1915495>
- Afonso, J., Rocha-Rodrigues, S., Clemente, F. M., Aquino, M., Nikolaidis, P. T., Sarmiento, H., Filter, A., Olivares-Jabalera, J., & Ramirez-Campillo, R. (2021). The Hamstrings: Anatomic and Physiologic Variations and Their Potential Relationships With Injury Risk. *Frontiers in Physiology*, 12(July), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.694604>
- Afonso, J., Olivares-Jabalera, J., & Andrade, R. (2021). Time to Move From Mandatory Stretching? We Need to Differentiate “Can I?” From “Do I Have To?” *Frontiers in Physiology*, 12(July), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.714166>
- Olivares-Jabalera, J., Fílter-Ruger, A., Dos Santos, T., Afonso, J., Della Villa, F., Morente-Sánchez, J., Soto-Hermoso, V.M. & Requena, B. (2021). Exercise-Based Training Strategies to Reduce the Incidence or Mitigate the Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injury in Adult Football (Soccer) Players: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 13351. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413351>
- Fílter, A., Olivares, J., Molina, A., Morente-Sánchez, J., Robles, J., Nakamura, F.Y., Santalla, A., Loturco, I. & Requena, B. (2022). Reliability and usefulness of maximum soccer-specific jump test: a valid and cost-effective system to measure on soccer field. *Sports Biomechanics*, <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.2024244>

- Filter-Ruger, A., Gantois, P., S. Henrique, R., Olivares-Jabalera, J., Robles-Rodríguez, J., Santalla, A., ... Nakamura, F. Y. (2022). How does curve sprint evolve across different age-categories in soccer players? *Biology of Sport*, 53–58. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2022.102867>
- Olivares-Jabalera, J., Fílder-Ruger, A., Dos Santos, T., Ortega-Domínguez, J., Sánchez-Martínez, R. R., Soto Hermoso, V. M., & Requena, B. (2022). Is there association between cutting and jump-landing movement quality in semi-professional football players? Implications for ACL injury risk screening. *Physical Therapy in Sport*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2022.05.015>
- Afonso, J., Olivares-Jabalera, J., Fernandes, R. J., Clemente, F. M., Rocha-Rodrigues, S., Claudino, J. G., ... Espregueira-Mendes, J. (2023). Effectiveness of Conservative Interventions After Acute Hamstrings Injuries in Athletes: A Living Systematic Review. *Sports Medicine*, 53(3), 615–635. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01783-z>
- Olivares-Jabalera, J., Fílder, A., Santos, T. Dos, Ortega-Domínguez, J., Hermoso, V. M. S., & Requena, B. (2023). The Safe Landing warm up technique modification programme: An effective anterior cruciate ligament injury mitigation strategy to improve cutting and jump-movement quality in soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 00(00), 1–11. <https://doi.org/10.1080/02640414.2023.2193451>

## B2. Capítulos de libro

- Afonso, J., Fonseca, H., Ramírez-Campillo, R., Olivares-Jabalera, J. & Rodrigues, S. (2023). Prevention Strategies of Lower Limb Muscle Injuries. En Espregueira-Mendes, J., Karlsson, J., Musahl, V., & Ayeni, O., *Orthopaedic Sports Medicine – An Encyclopedic Review of Diagnosis, Prevention, and Management (pp. 1-31)*. Springer.

## B3. Aportaciones a Congresos

**XXXIX Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.** León, España. Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales (SIBB). 21/10/2016.

Comunicación (autor). Efecto de la acción posterior a la recepción sobre la amortiguación de los saltos verticales. Accésit Congreso SIBB 2016.

**XXXIX Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.** León, España. Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales (SIBB). 21/10/2016.

Comunicación (coautor). Contribución de los brazos en el aterrizaje del salto vertical.

**I Congreso de Investigadores del PTS.** Granada, España. Universidad de Granada (Granada). 13/02/2019. Comunicación (autor). Análisis de tres metodologías para la detección de asimetrías en aterrizajes de saltos.

**XLII Congreso de la Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales.** Madrid, España. Sociedad Ibérica de Biomecánica y Biomateriales (SIBB). 15/11/2019.

Comunicación (autor). La presencia del balón en el salto en fútbol: análisis biomecánico.

**I Congreso Internacional y III Congreso Nacional de Rendimiento Deportivo, Actividad Física y Salud y Experiencias Educativas en Educación Física.**

Universidad de Jaén y Centro Universitario Sagrada Familia de Úbeda. 23/04/2021.

Comunicación (autor). Fiabilidad de la aplicación MyMocap para el cálculo de variables angulares de tronco, pelvis y rodilla en el plano frontal.

**III FSI Conference on High Performance in Football.** Football Science Institute. 30/11/2022. Conferencia. Research projects at Football Science Institute.

**Isokinetic Conference (30th edition).** Isokinetic Medical Group, London. 29/05/2023.

Comunicación (autor). Epidemiology of ACL injuries in Spanish LaLiga: when do they occur?

### C. OTROS MÉRITOS

**2017 – Actualidad.** Investigador del grupo CTS545-Ergolab (Human & Motion Lab), especializado en el análisis de la Biomecánica del Movimiento y el Rendimiento Deportivo y la Prevención de Lesiones en Fútbol – Instituto Mixto Universitario Deporte y Salud (iMUDS).

Granada, España

**Junio 2023.** Participación en el I Simposio de Fútbol Formativo celebrado en La Nucía y organizado por la Cátedra Institucional Camilo Cano. Título de la presentación: “La readaptación y vuelta a la competición del jugador lesionado”.

La Nucía, Alicante.

**Diciembre 2022.** Impartición del webinar “La ciencia aplicada al deporte. Rol y aplicaciones prácticas de la Biomecánica Deportiva en la optimización del rendimiento y la prevención de lesiones” en la Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del deporte de la Universidad de Huelva.

Huelva, España

**Octubre 2020.** Impartición del webinar “La ciencia aplicada al deporte. Análisis de las nuevas tendencias en biomecánica y la aplicación de las nuevas tecnologías para su implementación en el rendimiento deportivo y la prevención de lesiones” en la Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del deporte de la Universidad de Huelva.

*Huelva, España*

**Idiomas.** Español (natal), Inglés (nivel avanzado – C1 en Cambridge Assessment English), Portugués (nivel avanzado).

**Programas manejados.** Conocimientos básicos de programación en R. Habilidades avanzadas en paquete Office. Dominio de software de análisis del movimiento (Qualisys Track Manager, Visual-3D, Delsys, Bertec, OptoGait), de entrenamiento deportivo (Neuroexcellence, Hawkin Dynamics, Vitruve), de sistemas de geolocalización aplicado a fútbol (Catapult, Wimu, Johan) y de centralización de datos (KitmanLabs).