



Universitat
de les Illes Balears

TRABAJO DE FIN DE GRADO

DIFERENCIAS EXISTENTES EN LA BIOMECÁNICA DE LA CARRERA DE DEPORTISTAS CON LESIONES DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES FRENTE A DEPORTISTAS NO LESIONADOS

Pere Josep Reus Córcoles

Grado de Fisioterapia

Facultad de Enfermería y Fisioterapia

Año Académico 2021-2022

DIFERENCIAS EXISTENTES EN LA BIOMECÁNICA DE LA CARRERA DE DEPORTISTAS CON LESIONES DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES FRENTE A DEPORTISTAS NO LESIONADOS

Pere Josep Reus Córcoles

Trabajo de Fin de Grado

Facultad de Enfermería y Fisioterapia

Universidad de las Illes Balears

Año Académico 2021-2022

Palabras clave del trabajo:

Fenómenos biomecánicos, carrera, heridas y traumatismos, músculos isquiosurales.

Nombre Tutor/Tutora del Trabajo: Natalia Romero Franco

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RESUMEN

Introducción: Las lesiones de los músculos isquiotibiales son frecuentes en deportes que implican sprints, patadas o movimientos hábiles a gran velocidad, siendo la distensión de la musculatura isquiotibial (HSI) el tipo de lesión más común. Las HSI presentan una alta prevalencia y recurrencia suponiendo grandes costes para los deportistas. El mecanismo lesional está relacionado con los picos de las variables de la musculatura isquiotibial durante la carrera. El objetivo de esta revisión es analizar las diferencias en la biomecánica de la carrera de deportistas que han sufrido una lesión de la musculatura isquiotibial frente a deportistas no lesionados.

Estrategia de búsqueda: Se realiza una búsqueda de manera retrospectiva de la evidencia en español e inglés, en las siguientes bases de datos: Medline, Academic Search Complete, SPORTDiscus, E-Journals, eBook Collection, CINAHL complete, IBECs, LILACS, Web of Science, CDSR, PEDro, SciELO, ScienceDirect, ICYT, IME e ISOC.

Resultados: Se obtienen 15 estudios que analizan diferentes variables cinemáticas y cinéticas de los músculos isquiotibiales durante la carrera, con gran variabilidad en sus hallazgos.

Conclusiones: En base a la literatura actual, las tasas de carga, la flexión de tronco y la fuerza horizontal parece que tienen relación con la lesión de la musculatura isquiotibial. Sin embargo, se necesitan más estudios que analicen las variables de esta revisión para poder afirmar aquellas que si se relacionan con la lesión de este grupo muscular.

Palabras clave: Fenómenos biomecánicos, carrera, heridas y traumatismos, músculos isquiosurales.

ABSTRACT

Introduction: Hamstring injuries are common in sports involving sprinting, kicking or high-speed skilled movements, with hamstring strain (HSI) being the most common type of injury. HSIs have a high prevalence and recurrence, entailing high costs for athletes. The mechanism of injury is related to the peaks of hamstring variables during running. The aim of this review is to analyze the differences in running biomechanics of athletes who have suffered a hamstring injury versus uninjured athletes.

Search strategy: A retrospective search of the evidence in Spanish and English was carried out in the following databases: Medline, Academic Search Complete, SPORTDiscus, E-Journals, eBook Collection, CINAHL complete, IBECs, LILACS, Web of Science, CDSR, PEDro, SciELO, ScienceDirect, ICYT, IME and ISOC.

Results: 15 studies analyzing different kinematic and kinetic variables of the hamstring muscles during running are obtained, with great variability in their findings.

Conclusions: Based on the current literature, loading rates, trunk flexion and horizontal force appear to be related to hamstring injury. However, more studies analyzing the variables in this review are needed to be able to affirm those that do relate to injury of this muscle group.

Key words: Biomechanical phenomena, running, wounds and injuries, hamstring muscles.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGÍA	5
3.1 Estrategia de búsqueda	5
3.2 Límites	7
3.3 Criterios de elegibilidad.....	7
3.4 Calidad metodológica.....	7
4. RESULTADOS	8
4.1 Fuentes de información y calidad metodológica	8
4.2 Características generales de la muestra	10
4.3 Patología	14
4.4 Variables del estudio	17
5. DISCUSIÓN	26
7. BIBLIOGRAFÍA	30
8. ANEXOS	34
Anexo 1. Adjusted Downs and Black Quality Assessment Checklist	34

1. INTRODUCCIÓN

El semitendinoso, el semimembranoso y el bíceps femoral, este último compuesto por una cabeza larga y otra corta, forman la musculatura isquiotibial. Todos ellos surgen de las caras lateral, posterior y proximal de la tuberosidad isquiática y alcanzan la pierna a través de tendones y extensiones aponeuróticas. La inserción del bíceps femoral se encuentra en la cabeza del peroné, mientras que la del semimembranoso y el semitendinoso está en la cara medial de la tibia (1).

La lesión de los músculos isquiotibiales es frecuente en múltiples deportes, con una incidencia global de 1,2-4 lesiones por 1000 h de exposición del deportista (2). Entre los deportes que presentan un mayor riesgo de sufrir una lesión de este tipo encontramos aquellos que implican carreras de velocidad, patadas o movimientos hábiles a gran velocidad como el fútbol, el fútbol americano, el rugby y el atletismo (3,4). Existen varios tipos de lesiones relacionadas con este grupo muscular. Sin embargo, la más común es la distensión de los músculos isquiotibiales (HSI) (4). Las HSI se caracterizan por un dolor agudo o punzante en la parte posterior del muslo en las cuales los pacientes suelen referir dificultades para continuar con la actividad o el deporte en el momento de la lesión, además de presentar una marcha con las piernas rígidas al evitar la flexión de cadera y rodilla (5). Estas lesiones suelen diagnosticarse a partir de exámenes clínicos y/o ecográficos o a través de resonancia magnética (5,6).

Las distensiones musculares se pueden clasificar según el dolor, la debilidad y la pérdida de amplitud de movimiento en los siguientes grados: el grado I es una distensión leve, con una pérdida mínima de la integridad estructural de la unidad miotendinosa, una ligera pérdida de fuerza (o sin pérdida) y una inflamación de bajo grado; el grado II se presenta como una distensión moderada, con un desgarro parcial o incompleto de la unidad miotendinosa y una pérdida moderada de fuerza que provoca limitaciones funcionales significativas, pudiendo existir edema muscular y hematoma local; finalmente, las de grado III son distensiones graves, implicando desgarros completos o rotura de la unidad miotendinosa asociada a una discapacidad funcional grave (5,6).

En los deportistas adultos, la mayoría de las lesiones agudas de la musculatura isquiotibial se producen en la unión miotendinosa. La localización más frecuente es el tercio proximal

del bíceps femoral (69%), seguido por el semitendinoso (18%) y el semimembranoso (13%) (7).

Algunos de los factores de riesgo de las lesiones de los músculos isquiotibiales son: edad avanzada, antecedentes de HSI, debilidad y fatiga de la musculatura isquiotibial, desequilibrios entre la fuerza excéntrica de los músculos isquiotibiales y la fuerza concéntrica del cuádriceps y déficits de fuerza y coordinación de la musculatura pélvica y del tronco (3,4,6)... Además, un estudio reciente que analiza diferentes componentes de la técnica del sprint, identifica como factores de riesgo de las HSI los parámetros cinemáticos y cinéticos y la mecánica de la cadera (8).

Los datos epidemiológicos obtenidos del fútbol australiano y del rugby a lo largo de varios años, indican que las tasas de lesiones de los músculos isquiotibiales no han disminuido en las últimas décadas e incluso han aumentado en deportes como el fútbol (3,9). Por lo tanto, estos datos demuestran que las prácticas actuales destinadas a prevenir las HSI requieren una mayor investigación (3).

Las lesiones de la musculatura isquiotibial presentan una pérdida de tiempo media de 24 días y su tasa de recurrencia es del 33%, siendo las dos primeras semanas de regreso a la actividad deportiva el período con más riesgo, pudiéndose ver afectado el rendimiento posterior del atleta. Esta elevada tasa sugiere que los programas de rehabilitación no son efectivos, que se realiza un retorno al deporte prematuro o una combinación de ambos (4). Todo ello supone un alto coste para los deportistas y equipos profesionales (2,4,10). Además, las HSI recurrentes conllevan grandes consecuencias al ser más graves y suponer una pérdida de tiempo significativamente mayor que la primera HSI (4,6).

La naturaleza biarticular de los músculos isquiotibiales permite que se realice de forma simultánea una extensión de cadera y una flexión de rodilla durante una contracción concéntrica y un alargamiento durante la flexión de cadera y la extensión de rodilla, como ocurre en la carrera. Este alargamiento que se produce puede superar los límites mecánicos del músculo o provocar la acumulación de daños musculares microscópicos predisponiendo a las HSI (3). Aunque la etiología de las HSI es compleja y multifactorial (3), la mayoría se producen durante esfuerzos de carrera máximos o submáximos (9,11).

Últimamente han cobrado importancia las investigaciones acerca de la mecánica de los músculos isquiotibiales durante la carrera a alta velocidad y los estudios indican que el mecanismo de la lesión puede estar relacionado con el momento de los picos en las variables del musculotendón, como la longitud y la fuerza, además de la tensión excesiva durante la contracción excéntrica (3,6,7,12,13). Por lo tanto, durante la carrera a alta velocidad, la función del complejo miotendinoso es la que proporciona mayor información sobre los mecanismos de la lesión (12).

Un ciclo completo de la carrera incluye 4 fases principales: la fase de apoyo inicial (frenado) que comienza cuando el pie hace el contacto inicial y termina en la fase de apoyo medio (0 - 15% del ciclo de la carrera); la fase de apoyo final (propulsión) la cual empieza en la fase de apoyo medio y termina en el despegue de los dedos (15 - 30% del ciclo de la carrera); la fase de balanceo inicial y medio (recuperación) que se inicia en el despegue de los dedos y termina aproximadamente a los dos tercios de la fase de balanceo (30 - 77% del ciclo de la carrera); y finalmente, la fase de balanceo final (preactivación) que comienza aproximadamente a los dos tercios de la fase de balanceo y termina en el contacto inicial del pie (77 - 100% del ciclo de la carrera) (14).

Concretamente, durante la fase del balanceo final es donde existe un mayor riesgo de lesión de la musculatura isquiotibial (2,12). En esta fase, donde la cadera está flexionada y la rodilla se está extendiendo, estos músculos sufren su mayor estiramiento y se activan, contrayéndose excéntricamente para desacelerar la extremidad inferior y prepararla para el contacto del pie (3,4,10). Aunque se suele pensar que las HSI se producen durante el balanceo final, también existe la posibilidad de que se produzcan en la fase de apoyo inicial. De hecho, hace décadas los investigadores especulaban que esta era la fase de mayor riesgo en la carrera debido a los pares máximos de extensión de cadera y flexión de rodilla que se producían durante el contacto con el suelo (9).

Por todo ello, se requiere una comprensión completa del mecanismo lesional y de la función biomecánica de los músculos isquiotibiales durante el sprint para ayudar a desarrollar estrategias de rehabilitación y prevención dirigidas a esta lesión (2,11).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta revisión de la literatura es investigar qué diferencias existen en la biomecánica de la carrera de deportistas con lesiones de los músculos isquiotibiales frente a deportistas no lesionados.

El objetivo específico consiste en describir las diferencias que existen acerca de la cinemática, cinética y las variables de la carrera de deportistas que han sufrido una lesión de la musculatura isquiotibial frente a deportistas no lesionados o frente la extremidad sana en los atletas lesionados.

3. METODOLOGÍA

3.1 Estrategia de búsqueda

Esta revisión de la literatura se ha realizado sobre la importancia de la biomecánica de la carrera en la población deportiva con lesiones de la musculatura isquiotibial. Se realizó una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos: Medline, Academic Search Complete, SPORTDiscus, E-Journals, eBook Collection, CINAHL complete, IBECS, LILACS, Web of Science, CDSR, PEDro, SciELO, ScienceDirect, ICYT, IME, ISOC. La búsqueda se llevó a cabo hasta el 28 de abril del 2022.

En la siguiente tabla se indican los descriptores utilizados de los tesauros DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud) y MeSH (Medical Subject Headings) y las palabras clave, en español e inglés (Tabla 1).

Tabla 1. Descriptores DeCS y MeSH y palabras clave en español e inglés.

Descriptores	
DeCS	MeSH
Heridas y Traumatismos	Wounds and Injuries
Traumatismos en Atletas	Athletic Injuries
Fenómenos Biomecánicos	Biomechanical Phenomena
Cinética	Kinetics
Músculos Isquiosurales	Hamstring Muscles
Tendones Isquiotibiales	Hamstring Tendons
Carrera	Running
Trote	Jogging
Palabras Clave (Lenguaje Natural)	
Español	Inglés
Análisis Biomecánico	Biomechanical Analysis
Cinemática	Kinematics
Biomecánica	Biomechanics
Correr	Run
Trotar	Jog
Distensión Isquiotibiales	Hamstring Strain
Lesión Isquiotibiales	Hamstring Injury
Desgarro Isquiotibiales	Hamstring Tear

Se llevaron a cabo las siguientes estrategias de búsqueda utilizando los operadores booleanos “AND” y “OR” (tabla 2).

Tabla 2. Estrategias de búsqueda en las diferentes bases de datos y sus respectivas plataformas.

Base de datos Medline A través de la plataforma PubMed	
Estrategia de búsqueda #1	((("Wounds and Injuries"[Mesh]) OR "Athletic Injuries"[Mesh]) AND ("Biomechanical Phenomena"[Mesh] OR "Kinetics"[Mesh] OR "biomechanical analysis" OR "kinematics") AND ("Hamstring Muscles"[Mesh] OR "Hamstring Tendons"[Mesh]))
Base de datos Academic Search Complete, SPORTDiscus with Full Text, E-Journals, eBook Collection (EBSCOhost), CINAHL Complete A través de la plataforma EBSCOhost Research Databases	
Estrategia de búsqueda #1	SU (biomechanics or kinematics or kinetics) AND SU (hamstring strain or hamstring injury or hamstring tear) AND SU (running or jogging or run or jog)
Base de datos IBECs y LILACS A través de la plataforma Biblioteca Virtual en Salud	
Estrategia de búsqueda #1	(tw: (Wounds and Injuries)) AND (tw: (Biomechanical Phenomena)) AND (tw: (Hamstring Muscles)) AND (tw: (Running))
Base de datos Web of Science A través de la plataforma Web of Science	
Estrategia de búsqueda #1	(Wounds and Injuries OR Athletic Injuries) AND (Biomechanical Phenomena OR Biomechanical Analysis) AND (Hamstring Muscles OR Hamstring Tendons) AND (Running OR Run OR Jog OR Jogging) (Topic)
Base de datos CDSR A través de la plataforma Cochrane Library	
Estrategia de búsqueda #1	MeSH descriptor: [Kinetics] explode all trees
Estrategia de búsqueda #2	MeSH descriptor: [Biomechanical Phenomena] explode all trees
Estrategia de búsqueda #3	MeSH descriptor: [Wounds and Injuries] explode all trees
Estrategia de búsqueda #4	MeSH descriptor: [Athletic Injuries] explode all trees
Estrategia de búsqueda #5	MeSH descriptor: [Hamstring Muscles] explode all trees
Estrategia de búsqueda #6	MeSH descriptor: [Hamstring Tendons] explode all trees
Estrategia de búsqueda #7	MeSH descriptor: [Running] explode all trees
Estrategia de búsqueda #8	MeSH descriptor: [Jogging] explode all trees
Estrategia de búsqueda #9	(#1 OR #2) AND (#3 OR #4) AND (#5 OR #6) AND (#7 OR #8)
Base de datos PEDro A través de la plataforma PEDro	
Estrategia de búsqueda #1	Hamstring Running Biomechanics ((Match all search terms (AND)))
Base de datos SciELO A través de la plataforma SciELO	
Estrategia de búsqueda #1	Hamstring Muscles AND Biomechanical Analysis
Base de datos ScienceDirect A través de la plataforma Elsevier	
Estrategia de búsqueda #1	Hamstring Muscles AND Biomechanical Analysis AND Running (Title, abstract or author-specified keywords)
Base de datos ICYT, IME e ISOC A través de la plataforma INDICES-CSIC	
Estrategia de búsqueda #1	Hamstring Muscles AND Biomechanical Analysis

3.2 Límites

Los límites establecidos para las búsquedas fueron:

- Idioma: español e inglés.

3.3 Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión:

- Estudios que analizaran deportistas de cualquier sexo y edad con antecedentes de lesión de la musculatura isquiotibial o que sufrieran la lesión durante el estudio.
- Estudios que incluyeran un análisis de la biomecánica de la carrera.
- Estudios en español e inglés.

Criterios de exclusión:

- Estudios que incluyeran atletas con trastornos neurológicos y/o cardiorrespiratorios y antecedentes de cirugía o lesiones graves en los miembros inferiores.

3.4 Calidad metodológica

El nivel de evidencia de todos los estudios incluidos en esta revisión ha sido evaluado y determinado de acuerdo a la escala Adjusted Downs and Black Quality Assessment Checklist. Esta escala se usa para evaluar la calidad metodológica tanto de ECAs como estudios no aleatorios. Consta de 26 ítems distribuidos en cinco subescalas que evalúan respectivamente el informe (9 ítems), la validez externa (3 ítems), los sesgos (7 ítems), los factores de confusión (6 ítems) y la potencia (1 ítem). Sin embargo, en esta revisión se usó una versión modificada donde solo aparecen los ítems 1-7 de la primera subescala, 11-12 de la segunda subescala, 20 de la tercera subescala y 21,22 y 25 de la 4 subescala.

Las respuestas de cada ítem se puntúan con “0” o “1” según si el estudio incluye o no ese criterio, excepto un ítem de la subescala informe, que se puntúa de “0” a “2”, siendo la puntuación máxima de 12.

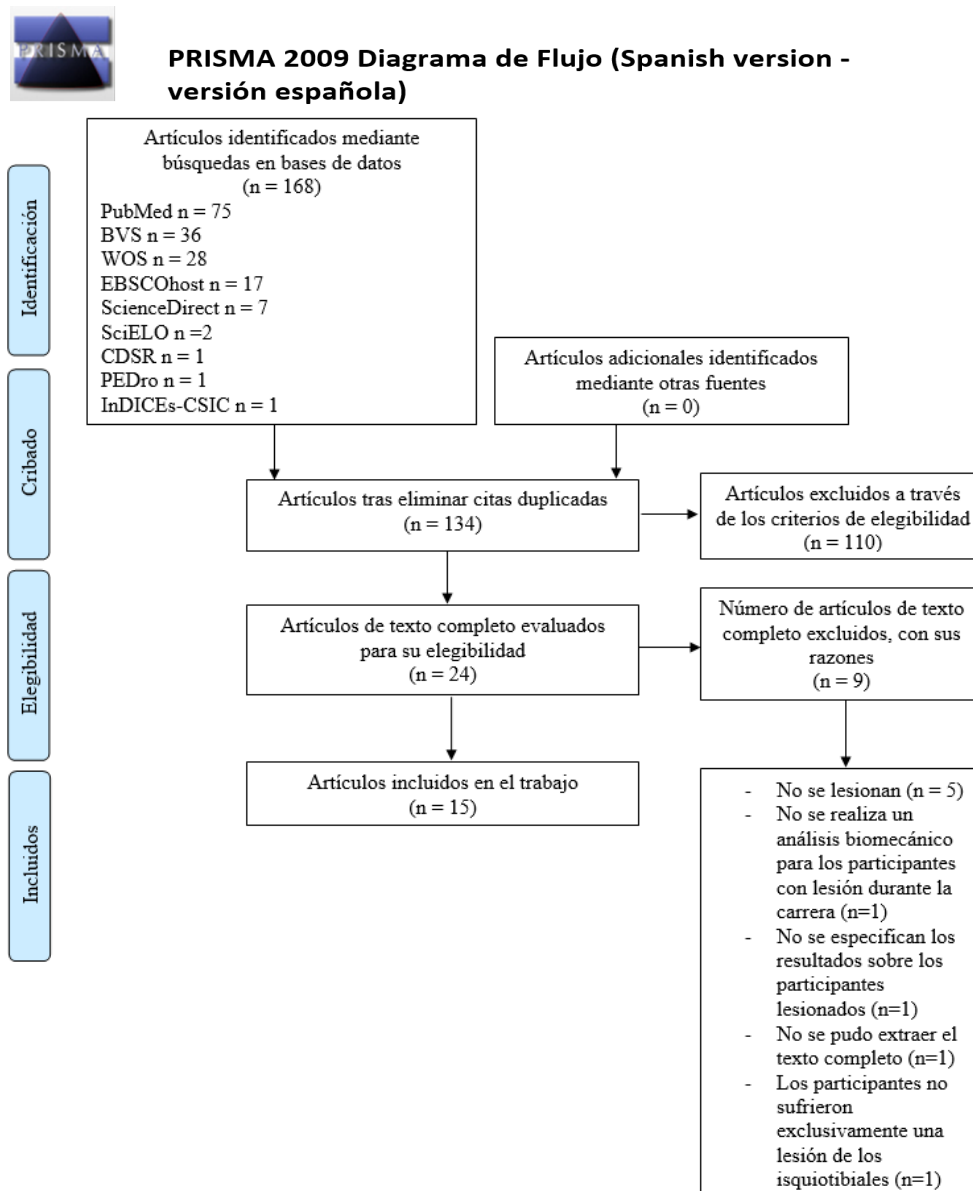
4. RESULTADOS

4.1 Fuentes de información y calidad metodológica

La estrategia de búsqueda a través de las diferentes bases de datos mostró inicialmente un total de 168 artículos. Sin embargo, después de eliminar los registros duplicados y aquellos excluidos al revisar los títulos, resúmenes y/o textos completos, se incluyeron en esta revisión un total de 15 artículos (figura 1).

Se han obtenido 7 informes de un caso o series de casos, 5 estudios de casos-controles, 2 estudios de cohorte y 1 estudio observacional descriptivo.

Figura 1. Flujograma



Los resultados de la Escala Adjusted Downs and Black Quality Assessment Checklist se muestran en la tabla 3. Todos los estudios tenían una puntuación de 4 o mayor (15–25) excepto 4 artículos (26–29) que obtuvieron una puntuación de 3. Los ítems 2 y 7 se han cumplido para todos los estudios, mientras que los ítems 1, 3 y 5 se han cumplido la mayoría de las veces. Las principales limitaciones de los estudios fueron no incluir como medida el consumo máximo de oxígeno (ítems 6 y 20), no identificar la fuente de la población (ítem 11) ni la proporción de participantes que aceptaron participar en el estudio (ítem 12), no especificar el período de reclutamiento (ítem 22), excepto los estudios de Schuermans et al. (19) y Kenneally-Dabrowski et al. (23) y, no indicar los criterios de verificación del esfuerzo máximo (ítem 25). Además, 4 estudios obtuvieron la puntuación de “N/A” en los ítems 5, 11, 12, 21 y 22, al tratarse de informes de un caso (16,21,27,29).

Tabla 3. Escala Adjusted Downs and Black Quality Assessment Checklist.

Ítems	1	2	3	5	6	7	11	12	20	21	22	25	Total
Johnson y Davis., 2021	Sí	Sí	No	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	No	U	No	4/12
Ciacci et al., 2013	No	Sí	No	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	U	U	No	3/12
Schache et al., 2009	Sí	Sí	Sí	N/A	No	Sí	N/A	N/A	No	N/A	N/A	No	4/12
Brughelli et al., 2010	Sí	Sí	Sí	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	Sí	U	No	6/12
Schuermans et al., 2017	Sí	Sí	Sí	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	Sí	Sí	No	7/12
Slider et al., 2010	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	U	No	No	No	U	No	4/12
Mendiguchia et al., 2015	Sí	Sí	Sí	N/A	No	Sí	N/A	N/A	No	N/A	N/A	No	4/12
Lord et al., 2019	No	Sí	Sí	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	Sí	U	No	5/12
Schache et al., 2010	No	Sí	Sí	N/A	No	Sí	N/A	N/A	No	N/A	N/A	No	3/12
Higashihara et al., 2019	No	Sí	No	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	U	U	No	3/12
Heiderscheit et al., 2005	No	Sí	Sí	N/A	No	Sí	N/A	N/A	No	N/A	N/A	No	3/12
Kenneally-Dabrowski et al., 2019	Sí	Sí	No	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	Sí	Sí	No	6/12
Mendiguchia et al., 2014	Sí	Sí	Sí	Sí (2)	No	Sí	U	No	No	Sí	U	No	7/12
Lee et al., 2009	Sí	Sí	No	Sí (1)	No	Sí	U	No	No	No	U	No	4/12
Daly et al., 2016	Sí	Sí	Sí	Sí (2)	No	Sí	U	No	No	Sí	U	No	7/12

N/A = No aplicable. U = No se puede determinar. 1. ¿Está claramente descrita la hipótesis/objetivo del estudio?; 2. ¿Se describen claramente los principales resultados que se van a medir en sección de introducción o en la de métodos?; 3. ¿Se describen claramente las características de los participantes incluidos en el estudio?; 5. ¿Están claramente descritas las distribuciones de los principales factores de confusión en cada grupo de sujetos a comparar?; 6. ¿Se describen claramente los principales hallazgos del estudio?; 7. ¿Proporciona el estudio estimaciones de la variabilidad aleatoria de los datos para los resultados principales?; 11. ¿Los sujetos a los que se les pidió que participaran en el estudio eran representativos de toda la población de la que fueron reclutados?; 12. ¿Los sujetos que estaban dispuestos a participar eran representativos de toda la población de la que fueron reclutados?; 20. ¿La medida de VO₂pico utilizada fue precisa (válida y fiable)?; 21. ¿Los participantes pertenecían a diferentes grupos de intervención (ensayos y estudios de cohortes) o los casos y controles (estudios de casos y controles) se reclutaron de la misma población?; 22. ¿Los participantes en el estudio pertenecían a diferentes grupos de intervención (ensayos y estudios de cohortes) o los casos y los controles (estudios de casos y controles) se reclutaron durante el mismo período de tiempo?; 25. ¿Hubo un ajuste adecuado de los factores de confusión en los análisis de los que se extrajeron los resultados principales?

4.2 Características generales de la muestra

Las características generales de la muestra de los diferentes estudios incluidos en la revisión se muestran en la tabla 4. En aquellos estudios donde se especificaba el sexo, los participantes eran exclusivamente hombres en 9 estudios (16,17,21,24–29), excepto en el de Johnson y Davis (15) y Slider et al. (20), donde se incluyeron también mujeres. En referencia a los sujetos y su participación deportiva, destacaban los corredores, jugadores de fútbol o jugadores de fútbol australiano (15,16,18,19,21,22,24–28) y solo en 4 artículos se especificó la experiencia deportiva de los atletas (18,19,21,22). Finalmente, la edad de la gran mayoría de los participantes se encontraba entre los 20-30 años (16–19,21–27).

Tabla 4. Características generales de la muestra.

Autor, Año	Diseño	Muestra	Inclusión	Exclusión
Johnson y Davis, 2021	Casos- controles	46 corredores. GL (N = 23, 5 hombres/18 mujeres) 40 años; GNL (N = 23) 36 años	GNL: Correr > 10 millas/semana sin lesiones ni dolor (≥ 3 meses)	N/A
Ciacci et al., 2013	Observacional Descriptivo	6 velocistas sub-élite masculinos 26 años	N/A	N/A
Schache et al., 2009	Informe de un caso	Jugador de Australian Football de élite 20,3 años	N/A	N/A
Brughelli et al., 2010	Casos- controles	22 jugadores de la Western Australian Football (> 3 años de experiencia). GL (N = 11) 22,4 años; GNL (N = 11 jugadores) 21,9 años	GNL: No sufrir lesiones de MMII (2 años anteriores). GL: Historial de una/múltiples lesiones unilaterales en los MIT	N/A
Schuermans et al., 2017	Estudio de cohortes	60 futbolistas. GL (N = 30) 24.7 años; GNL (N = 30) 23.7 años, análisis retrospectivo. GNL (N = 29) análisis prospectivo	N/A	Antecedentes lesiones graves en las EI; molestias anteriores o actuales en la parte inferior de la espalda; <5 años de experiencia en fútbol de competición; y futbolistas <18 o >35 años
Slider et al., 2010	Serie de casos	18 atletas (14 hombres y 4 mujeres) 18 a 45 años, involucrados en deportes relacionados con la carrera	N/A	Avulsión o disrupción completa de los MIT (grado III); otra lesión actual de la EI; antecedentes de cirugía de cadera o rodilla; atrapamiento de un nervio de la EI; y dolor en los MMII o en la espalda al correr
Mendiguchia et al., 2015	Informe de dos casos	Primer caso: Jugador profesional de rugby unión e internacional de rugby a siete, 23 años, 4 años de competición profesional. 20 jugadores del mismo equipo, 23,9 años. Segundo caso: Jugador de fútbol profesional de la 1 división española, 25 años	N/A	N/A

Lord et al., 2019	Casos- controles	40 futbolistas (5 años de experiencia, > 2 años en la liga estatal). GL (N = 20) 23,8 años; GNL (N = 20) 20,1 años	N/A	N/A
Schache et al., 2010	Informe de un caso	Jugador de Australian Football 20,3 años	N/A	N/A
Higashihara et al., 2019	Serie de casos	10 velocistas universitarios hombres 19,9 años	N/A	N/A
Heiderscheit et al., 2005	Informe de un caso	Esquiador profesional, 31 años	N/A	N/A
Kenneally-Dabrowski et al., 2019	Estudio de casos y controles dentro de una cohorte	10 jugadores profesionales de rugby del mismo equipo de la Super Rugby internacional. GL (N = 3) 27'33 años; GNL (N = 6) 25'33 años	N/A	N/A
Mendiguchia et al., 2014	Casos- controles	28 futbolistas masculinos semiprofesionales de 13 equipos españoles. GNL (N = 14) 21,9 años; GL (N = 14) 21,6 años. Prueba 1 (N = 28). Prueba 2 (N = 11 del GL)	GL: Lesión evaluada en las 4 semanas siguientes después de volver a la competición. GNL: Historia desconocida de antecedentes de lesión en los MIT; y participación plena en entrenamientos/partidos	Lesión muscular, de rodilla o lumbo-pélvica que requiriera intervención médica profesional al menos 2 años antes de las mediciones; y cualquier trastorno neurológico, cardiorrespiratorio o sistémico conocido
Lee et al., 2009	Serie de casos	26 hombres (fútbol australiano, rugby unión, fútbol, triatlón, atletismo, cricket y bolos rápidos) 23,6 años. Análisis de la carrera (N = 12)	N/A	N/A
				GL: No retorno a la participación plena sin dolor en el deporte o síntomas residuales de deterioro funcional de los MIT; disfunción de la sacroilíaca o de la columna lumbar; ROM reducido o doloroso o molestias durante la prueba de movimiento

Daly et al., 2016	Casos- controles	17 jugadores masculinos de hurling de élite. GL (N = 9) 28.33 años; GNL (N = 8) 25 años	N/A	intervertebral lumbar; o dinámica neural alterada. GNL: Historial de lesiones en los MIT. Ambos grupos: Resultados positivos al completar el PAR-Q; antecedentes de cirugía de las EI (2 años anteriores al reclutamiento); o no eran actualmente competidores de élite
EI = Extremidad inferior. GL = Grupo lesionados. GNL = Grupo no lesionados. MIT = Músculos isquiotibiales. MMII = Miembros inferiores. N/A = No aplicable. PAR-Q = Physical Activity Readiness Questionnaire.				

4.3 Patología

La definición y el tiempo de la lesión de los diferentes estudios incluidos en la revisión se muestran en la tabla 5. 12 estudios incluyeron a participantes con un historial de lesión de los músculos isquiotibiales (15–22,24–26,28), Schache et al. (27) y Heiderscheit (29) realizaron el análisis durante el momento de la lesión y 4 artículos examinaron a atletas que se lesionaron posteriormente al test (19,21,23,26). En referencia a cómo los estudios definían la lesión de la musculatura isquiotibial, 5 artículos utilizaron pruebas de imagen para el diagnóstico de la lesión (RMN u otras) (16,19–21,24) mientras que 8 artículos la definieron mediante criterios muy variables, ya sea mediante síntomas, etiología y actividad durante la lesión, localización del dolor, músculo afectado, tiempo de entrenamiento/partidos perdidos, exclusión de otras causas o mediante un examen clínico (15,17,18,22,25,26,28,29). Sin embargo, Kenneally-Dabrowski (22) y Schache et al. (26) no especificaron ninguno de los criterios anteriores. Finalmente, 4 estudios detallaron el grado de la lesión de los sujetos, aunque no que clasificación siguieron (18,21,25,26).

Tabla 5. Definición de la lesión y relación tiempo lesión-test.

Autor, Año	Lesión	Definición/Diagnóstico	Tiempo lesión-test
Johnson y Davis., 2021	GL: Lesión de los MIT	Dolor originado en la musculatura o tendones isquiotibiales, con la eliminación de otras fuentes potenciales de dolor en la parte posterior del muslo	Media de tiempo desde la aparición de dolor fue de 12 meses antes para 18 participantes. Los 5 restantes no pudieron determinar cuándo empezó
Ciacci et al., 2013	2 sujetos experimentaron una lesión de los MIT	Ambos sufrieron una distensión de grado 2 cerca de la unión miotendinosa de la cabeza larga del bíceps femoral	Un velocista sufrió una lesión 1 mes después del test, mientras que el otro la experimentó 2 meses antes de la prueba
Schache et al., 2009	Distensiones recurrentes de los MIT derechos	La RMN reveló una lesión de la unión miotendinosa proximal de la cabeza larga del bíceps femoral y los músculos semitendinosos	Se produjo 67 días antes de la evaluación y se agravó 42 días después
Brughelli et al., 2010	GL: Distensiones musculares unilaterales entre grado 1-3	La lesión causó que el atleta se perdiera al menos 1 semana de entrenamiento	Ocurrió a menos de 2 años de la prueba
Schuermans et al., 2017	Lesión de los MIT	Lesión relacionada con el fútbol en la región de los MIT, que impide al jugador participar en entrenamientos o competiciones durante al menos 1 semana. La mayoría se diagnosticaron clínicamente, con o sin imágenes médicas adjuntas	Se experimentó en la última temporada o la anterior (últimos 24 meses). Durante el seguimiento de 1,5 temporadas se lesionaron 4 sujetos del grupo control
Slider et al., 2010	Lesiones en el bíceps femoral en una o más ocasiones	El diagnóstico inicial se realizó a partir del interrogatorio del sujeto y de la historia clínica, y se confirmó mediante RMN	La lesión sucedió entre 5 y 13 meses antes del test
Mendiguchia et al., 2015	El jugador de rugby sufrió una distensión de los MIT izquierdos. El futbolista sufrió también una lesión de los MIT izquierdos	El fisioterapeuta del jugador de rugby diagnosticó la lesión como una distensión de grado 2. Para el futbolista, el examen clínico y la RMN confirmó una distensión del bíceps femoral de grado 1	Por un lado, el jugador de rugby sufrió una lesión 53 días antes de la prueba. Por otro lado, el jugador de fútbol se lesionó 18 meses antes del test y 8 días después de realizar la primera parte del test sufrió la segunda lesión
Lord et al., 2019	GL: Una o más lesiones unilaterales de los MIT, todas en su pierna de disparo	La lesión provocó que el atleta se perdiera al menos 1 semana de entrenamiento	Ocurrió a menos de 2 años de la prueba
Schache et al., 2010	Distensión aguda de los MIT derechos	N/A	Se lesionó en la 10 carrera durante el estudio

Higashihara et al., 2019	Distensiones unilaterales de los MIT	Dolor agudo en la región de los MIT durante el entrenamiento o la competición que impide al jugador participar en el entrenamiento o la competición durante al menos 1 semana	El período de tiempo después de la lesión fue de 2-61 meses antes de la prueba
Heiderscheit et al., 2005	Lesión en los MIT derechos	Un especialista en medicina del deporte diagnosticó la lesión como una distensión en la unión miotendinosa de la cabeza larga del bíceps femoral	El sujeto se lesionó durante el test
Kenneally-Dabrowski et al., 2019	3 atletas sufrieron una lesión de los MIT	N/A	El tiempo entre la prueba y la lesión posterior fue para cada atleta de 39, 139 y 192 días respectivamente
Mendiguchia et al., 2014	GL: Lesión aguda reciente de los MIT. Otro jugador experimentó una recidiva de su lesión de los MIT antes de realizar la Prueba 2	Aparición repentina de dolor en la parte posterior del muslo no relacionado con el contacto durante un partido o entrenamiento que obligó al jugador a abandonarlo, existencia de sensibilidad a la palpación, el estiramiento y la contracción de los MIT con o sin confirmación por técnicas de imagen y la lesión provocó que el jugador se perdiera al menos 1 partido oficial o 1 semana de entrenamiento	Se realizó la Prueba 1 cuando los deportistas volvieron al deporte después de la rehabilitación (media de tiempo de recuperación 3'5 semanas antes del primer test). La Prueba 2 se llevó a cabo en un tiempo medio de 9'5 semanas después de volver al deporte
Lee et al., 2009	Una o más lesiones unilaterales de los MIT	Diagnóstico médico donde todas las lesiones de los MIT eran grado 2 o un grado menor a 3	El tiempo medio transcurrido entre la última lesión y el test fue de 19 meses
Daly et al., 2016	GL: Lesión de los MIT relacionada con la carrera	Aparición repentina de dolor en la parte posterior del muslo, producida sin contacto y durante la carrera a gran velocidad, dolor localizado en la región de los MIT causando molestias la carrera y en su contracción activa durante un mínimo de 48 h después de la lesión e incapacidad para practicar deporte durante al menos 48 horas después de la lesión	Los sujetos se lesionaron entre los 2 años anteriores al test
GL = Grupo lesionados. MIT = Músculos isquiotibiales. N/A = No aplicable.			

4.4 Variables del estudio

Las múltiples variables de los diferentes estudios incluidos en la revisión se muestran en la tabla 6.

Variables cinemáticas

7 estudios incluyeron en su análisis biomecánico variables cinemáticas (16,17,19,23,25,26,28).

En la extremidad lesionada y/o en los sujetos lesionados se observaron mayores valores para la flexión de tronco en el golpe del pie durante los ensayos previos a la lesión (16), la flexión de rodilla en la fase de despegue de los dedos (26) y durante el balanceo final (significativo) (28), la inclinación anterior de la pelvis en la fase de balanceo posterior/inicial (significativo) (19) y durante el balanceo final (17), la flexión lateral torácica en la fase de balanceo anterior/final (significativo) (19) y la fase de balanceo final (23), la flexión de cadera antes del golpe del pie (significativo) (28) y durante el balanceo final (17) y la extensión de rodilla durante el balanceo final, en los ensayos previos a la lesión (16).

Sin embargo, se encontraron valores menores en la inclinación anterior de la pelvis durante el apoyo final (significativo) (28), la flexión de cadera en la prueba de la lesión, durante el balanceo (16), durante el balanceo medio (significativo) (28) y durante el balanceo final (significativo) (25), la extensión de cadera durante la fase de despegue de los dedos (26) y la estabilidad toracopélvica a lo largo de toda la zancada (19).

Finalmente, no hubo diferencias significativas en el análisis retrospectivo de los ángulos articulares para ninguna de las fases de la carrera (19).

Variables cinéticas

10 estudios incluyeron en su análisis biomecánico variables cinéticas (15,16,18,21–25,27,29).

En la extremidad lesionada y/o en los sujetos lesionados se hallaron mayores valores para el par máximo extensor de cadera, la generación de potencia máxima de la cadera, la fuerza de reacción al suelo y tasa de carga durante el apoyo inicial, en los ensayos previos a la lesión (16), la tasa de carga media e instantánea vertical en el apoyo inicial (tamaño del efecto pequeño a moderado) (15), los momentos máximos de extensión de cadera y flexión de rodilla durante el balanceo (29), los momentos de extensión de cadera durante el centro del balanceo final (23), la fuerza horizontal máxima teórica en el jugador de rugby (21) y la absorción de potencia de la rodilla en la fase de balanceo final (23).

Sin embargo, se observaron valores menores en el momento máximo flexor de rodilla durante la fase de balanceo final (25), la absorción de potencia máxima de la cadera durante el balanceo, en los ensayos previos a la lesión y, la absorción de potencia máxima de la rodilla durante el balanceo, en la prueba de la lesión (16), la absorción de potencia máxima de los músculos isquiotibiales en el ensayo de la lesión (27), la potencia máxima horizontal (magnitud moderada) y la fuerza horizontal máxima teórica (magnitud moderada) al volver al deporte (24), la fuerza horizontal máxima teórica en el jugador de fútbol entre los sprints anteriores y posteriores a la lesión y en los otros jugadores del equipo de rugby (21) y la fuerza horizontal (significativo) (18,22).

Finalmente, no hubo diferencias significativas en la fuerza de reacción al suelo durante el ciclo de la carrera entre grupos (15).

Longitud de los isquiotibiales

5 estudios incluyeron en su análisis biomecánico la longitud de los músculos isquiotibiales (16,20,27–29).

En la extremidad lesionada y/o en los sujetos lesionados se objetivaron mayores valores para la longitud de la unidad miotendinosa de la musculatura isquiotibial durante el balanceo final, en los ensayos previos a la lesión (16), la longitud máxima de los músculos isquiotibiales antes de la lesión (27), la longitud máxima del bíceps femoral y los ángulos de flexión de cadera y rodilla correspondientes a esta longitud durante el supuesto período de lesión (29).

Sin embargo, se observaron valores menores en la longitud de la cabeza larga del bíceps femoral durante la fase de balanceo final (significativo) (28).

Finalmente, no hubo diferencias significativas en el estiramiento máximo de la musculatura isquiotibial ni en las curvas de longitud de los musculotendones entre las extremidades (20).

Tabla 6. Variables del estudio.

Autor, Año	Medición	Variables	Seguimiento	Resultados
Johnson y Davis., 2021	Análisis cinta de correr + 2 PdF. Ritmo de carrera → entrenamiento cómodo para cada participante. Se recopilaban ~ 20 zancadas para cada pierna	Formas de onda de la FRS, TCMV y TCIV, LP y dolor durante la carrera (dolor en el GL)	N/A	No diferencias significativas en las formas de onda de la FRS entre GL y GNL ni en la LP entre grupos. La TCMV y la TCIV fueron mayores en el GL (efectos pequeños-moderados) en el apoyo inicial
Ciacci et al., 2013	Análisis grabación vídeo (6 cámaras + marcadores colocados en los deportistas). 6 pruebas de sprint (velocidad SM, descanso entre pruebas (5-6 min)). Selección 2 pruebas en las que se dieron 2 golpes consecutivos con el pie (D e I) en volumen calibrado. Asimetría clínicamente relevante (Umbral: 15%)	Puntos de golpe del pie y despegue de los dedos, ángulos de flexión de cadera y rodilla en el golpe del pie y despegue de los dedos, flexión máxima de rodilla durante la fase de apoyo, y el TC para ambas extremidades	N/A	Atletas lesionados: En el despegue de dedos mostraron mayor flexión de rodilla y menor extensión de cadera en la extremidad lesionada. Índices de simetría notablemente > al umbral. Atletas no lesionados: Alto grado de simetría (todos los parámetros), valores medios significativamente inferiores al umbral
Schache et al., 2009	Datos cinemáticos y FRS: Sistema análisis movimiento 3D (8 cámaras + 2 PdF + marcadores en tronco, pelvis y EI) para 10 pruebas de sprint (descanso entre pruebas <3 min). Cada prueba contenía un golpe del pie en una de las PdF para una sola pierna. Se recogieron 5 ensayos para la pierna I como para la D	Ángulos de la cadera, rodilla y tronco y longitudes de las unidades miotendinosas de los MIT durante el golpe del pie o previo a él, pares, potencias (generación y absorción) de cadera y rodilla, datos sobre la FRS y la tasa de carga, velocidad y TA	N/A	Previo a lesión (pierna D): Mayor extensión de rodilla (5'7°) y longitud de la unidad miotendinosa de los MIT durante el balanceo final, mayor FRS (7%), tasa de carga (73%), par máximo extensor de cadera (14%) y generación de potencia máxima de cadera (30%) durante el apoyo inicial y menor absorción de potencia máxima de la cadera (34%) durante el balanceo. En el golpe del pie D se incrementó la flexión de tronco (3'38°). En el sprint de la lesión (pierna D): Menor absorción de potencia máxima de la rodilla (87%) y una flexión máxima de cadera 57° menor durante el balanceo (~ 36° mientras que fue de ~ 93° en previo a la lesión)

Brughelli et al., 2010	Tapiz rodante (velocidad controlada por 2 fotomicrosensores ópticos y tacómetro). La FV medida con 4 células de carga verticales bajo la superficie del tapiz. Jugadores con arnés (cintura) conectado a una célula de carga horizontal (medición FH). Deportistas corrieron aprox. al 80%-Vmax-8s, periodo medición FV y FH. Análisis total de 12 pasos	FH y FV, rigidez vertical y de las piernas, TC, impulso, frecuencia de la resonancia, trabajo positivo y desplazamiento vertical del CM entre pierna derecha e izquierda y pierna lesionada y no lesionada dentro y entre los jugadores	N/A	GNL: No diferencias significativas entre piernas para ninguna variable. GL: Diferencia significativa de FH (pierna lesionada 175 N, no lesionada 326 N). Comparación entre grupos: FH significativamente mayor en la pierna no lesionada del GL respecto a las piernas del GNL (19'2% y 20'5%) y significativamente menor en la pierna lesionada del GL en comparación con las piernas del GNL (31,5% y 32,7%)
Schuermans et al., 2017	Análisis cinemático: Pista de atletismo (40 m), 8 cámaras (movimiento 3D) instaladas entre 15 y 25m de la pista + 40 marcadores colocados en sujetos. Detección de pasos: sistema Optogait. Recogida de datos 3D y detección de los pasos en los 10m de medición. Se indicó correr sobre una distancia (>30m) alcanzando la Vmax lo antes posible. Cada futbolista, 12 sprints máximos para el análisis de 6 zancadas I y 6 D. Ensayo válido: 3 fases de apoyo completas dentro del volumen de medición	Cinemática del tobillo, rodilla y cadera y segmentos cinemáticos de la pelvis y el tórax. Además, se realizó para cada ángulo y segmento de las articulaciones una curva cinemática de cada una de las 3 fases (balanceo anterior, apoyo y balanceo posterior)	Rellenar encuesta, los lunes (temporada 2013-2014 y 1r mitad siguiente temporada). Registro de lesiones, preguntas sobre la exposición semanal y la incidencia de lesiones y molestias	Entre grupos: Comparación ángulos articulares 3D del tobillo, rodilla, cadera, pelvis y tronco (fases de balanceo anterior, apoyo y balanceo posterior) no diferencias significativas. (Análisis retrospectivo). Futbolistas lesionados durante seguimiento: Mayor inclinación anterior de pelvis (diferencia estadísticamente significativa en balanceo posterior), flexión lateral torácica significativamente mayor en la fase de balanceo anterior y cinemática toracopélvica menos estable (movimiento tóraco-pélvico neutro en los controles). (Análisis prospectivo)
Slider et al., 2010	Registro cinemático: Sistema 8 cámaras + 48 marcadores en los sujetos. Sprint en cinta rodante a 60, 80 90 y 100% de la Vmax. Ensayos recogidos en orden de velocidad creciente, 5 zancadas analizadas	Longitud máxima del musculotendón del BF y curvas sobre la longitud del musculotendón del BF durante el ciclo la carrera	N/A	No diferencias significativas entre extremidades en el estiramiento máximo de los MIT ni se mostró una interacción velocidad-por-extremidad. El conjunto promediado de las curvas de longitud de los musculotendones de

	a cada velocidad (tiempo total por ensayo <10 s)			los MIT, para ambas extremidades a lo largo del ciclo de la marcha fue casi indistinguible
Mendiuchia et al., 2015	Jugador rugby: 10 sprints (40m), pista superficie sintética, ciclo de 30 s. Sufrió la lesión durante el 5 sprint. Comparación datos realizada entre los 5 primeros sprints y los datos de su equipo. Jugador fútbol: 4 carreras máximas (50m), campo césped natural (6 min descanso). Comparación datos entre los 2 primeros sprints y los 2 posteriores a la lesión. La velocidad de sprint instantánea se cuantificó con un radar (para ambos jugadores)	Relaciones F-V y su pendiente, V0, FH0, y la potencia máxima con tiempos de separación en 5 y 20 m	N/A	Jugador rugby: Cambio en la pendiente F-v (+21,1%) asociado a un aumento de la FH0 (14%) y una disminución de la V0 (6%). Equipo rugby: Cambio en la pendiente F-v (11,7 %) con una disminución de la FH0 (10.8 %) y de la V0 (2'7 %). Jugador de fútbol: Entre los sprints anteriores y posteriores a la lesión, cambio en la pendiente F-v (-21,1%) que representa una disminución de la FH0 (20,5%) sin ningún cambio en la V0
Lord et al., 2019	PSR: Respuesta de fatiga en 10 sprints repetidos (10 series, 6s a Vmax, 24s recuperación activa (trote a 2 m s ⁻¹)). La fase de aceleración del sprint se incluyó en el período de recogida de datos de 6s. Velocidad y tiempo de carrera: Software PacerPerformance System. El tapiz rodante contenía 4 PdF para la medición de la FRS	Producción media de FH y FV y TC y TV medio entre las piernas previamente lesionadas y las no lesionadas	N/A	Disminución significativamente mayor de la media de la FH en la pierna de disparo (lesionada) del GL (13%) que en la pierna de disparo (no lesionada) del GNL (3%). No diferencias estadísticamente significativas entre la pierna lesionada del GL y la pierna del GNL para la disminución de la media de la FV, la disminución del TC ni la disminución del TV
Schache et al., 2010	Registro datos: Sistema análisis de movimiento 3D (8 cámaras) + 3 PdF en 4 m de longitud para la FRS + 36 marcadores en tronco, pelvis y EI. 10 pruebas de sprint a velocidades seleccionadas por el sujeto (9 sin síntomas). 5 ensayos contenían un único contacto de la PdF para la pierna D, mientras que 4 ensayos lo contenían para la pierna I	Propiedades fuerza-longitud-velocidad y potencia de los MIT y trabajo negativo durante las fases de balanceo final, golpe del pie (así como previo y post al golpe del pie) y apoyo del pie	N/A	Pre-lesión: La longitud máxima de los MIT aumentó en un 0,62%, superando la longitud óptima asumida del modelo (pierna que se lesionó, D). Ensayo de la lesión: El impulso generado por los MIT durante el balanceo final fue mucho menor, la Vmax de alargamiento de los MIT disminuyó un 40,4% y como resultado, la absorción de potencia máxima de los MIT se redujo drásticamente
	Medición pista de atletismo (100m). Registro datos cinemáticos 3D: 12 cámaras + 34 marcadores colocados en las ES y EI.			Extremidad lesionada: Ángulo de inclinación anterior de la pelvis significativamente menor en el apoyo final (11%-14% del sprint), ángulo de

Higashi et al., 2019	Sprint máximo esfuerzo y análisis de un ciclo de marcha para cada extremidad. SPM + modelo musculoesquelético 3D para calcular las diferencias en las variables. Datos del sprint remuestreados a 101 puntos (representación ciclo de marcha del 0% al 100%, incrementos del 1%)	Velocidad, ángulo de inclinación anterior de la pelvis, longitud del musculotendón del BFcl, y ángulos y pares de las articulaciones de la cadera y la rodilla en cada momento del sprint	N/A	flexión de cadera significativamente menor en el balanceo medio (59%-70% del sprint) y significativamente mayor antes del golpe del pie (97%-99% del sprint), ángulo de flexión de rodilla significativamente mayor entre el 78% y el 82% del sprint y longitud del cIBF significativamente menor durante la fase de balanceo final (82%-83% del sprint)
Heiderscheit et al., 2005	Registro cinemático: Sistema óptico de captura de movimiento + 34 marcadores colocados en los sujetos. Captura de datos de 3 zancadas antes de que se produjera algún indicio de lesión. Cálculo ángulos y longitudes de los MIT biarticulares durante las pruebas: Modelo musculoesquelético 3D	Velocidades y aceleraciones angulares, ángulos y momentos articulares y longitudes de los MIT durante la fase de balanceo	N/A	Período estimado de lesión: Fase final de balanceo/inicio fase de apoyo, 1.41-1.52s = longitudes máximas de los musculotendones de los MIT. Extremidad lesionada (D): El BF alcanzó una longitud máxima del musculotendón de un 12,2% (< longitud en posición vertical), los ángulos de flexión de cadera y rodilla correspondientes a la longitud máxima fueron mayores, las longitudes máximas del St (9,8%) y del Sm (10,4%) se estiraron menos que el BF y los momentos máximos de extensión de cadera (166 Nm) y flexión de rodilla (84 Nm) durante el balanceo fueron un 22% y un 12% mayores
Kennally-Dabrowski et al., 2019	Evaluación esfuerzos máximos de carrera (pista sintética cubierta, 110m). Sistema análisis movimiento 3D, 20 cámaras (región 30-50m, datos de la trayectoria a través de la fase de Vmax de cada sprint) + marcadores en los deportistas. Datos FRS mediante 8 PdF. Datos promediados en 3 ensayos por participante normalizados al 100% de la fase de balanceo final. fPCA: Visualizar la variabilidad de los datos y se obtuvieron 5 fPCs para cada variable	Velocidad, ángulos, velocidades angulares, momentos y potencias articulares de la cadera y rodilla, inclinación pélvica y flexión lateral torácica durante la fase final de balanceo	Simultáneamente y a lo largo de la siguiente temporada de Super Rugby, se recopilaron datos de lesiones en los MIT de toda la plantilla de los cuales fueron	Ambos grupos: Vmax de carrera similares. 5 fPCs de 3 variables se diferenciaron entre grupos. Atletas lesionados: Mayor lateroflexión torácica HL y mayor absorción de potencia de la rodilla en la fase de balanceo final y mayores momentos de extensión de cadera durante el centro de la fase de balanceo final

			reclutados los atletas	
Mendiuchia et al., 2014	2 sprints máximos (50m), campo césped natural, descanso de 6 min. Rendimiento de sprint: Radar Stalker ATS TM que mide la velocidad de sprint hacia delante del sujeto	Velocidad, V0, FH0 y Pmax.	N/A	Prueba 1: Los jugadores lesionados fueron moderadamente más lentos (5, 10 y 40m), con una Vmax (magnitud de las diferencias entre grupos menor), Pmax, FH0 moderadamente menores, la V0 fue también menor (magnitud de las diferencias intergrupales menor para V0). Prueba 2: Los jugadores lesionados presentaron un aumento moderado en la Pmax y FH0 con mejoras en el rendimiento de sprint (5 y 10m, aceleración temprana). El rendimiento a 40m, la Vmax y la V0 no presentaron cambios significativos
Lee et al., 2009	Análisis de movimiento 3D (sistema Vicon MX,12 cámaras + 32 marcadores). 6 sprints submáximos (80% de la Vmax). 3 ciclos de sprint de cada EI con datos de la FRS recogidos de los contactos del pie en la PdF	Ángulo y velocidad angular de flexión de cadera, momentos y potencias de extensión de cadera, ángulos y momentos de flexión de rodilla, velocidad angular de extensión de rodilla y absorción de la potencia de la rodilla en la fase de balanceo final. Los momentos máximos flexores de cadera y la potencia de flexión de cadera se extrajeron de la fase de balanceo inicial	N/A	Extremidad lesionada: La flexión máxima de la cadera en la fase final del balanceo se redujo significativamente 1,9° y menor momento flexor máximo de la rodilla de 6,9 N·m en la fase de balanceo final. No se encontraron diferencias bilaterales significativas para ninguna de las otras medidas cinemáticas ni cinéticas de la cadera ni de la rodilla para la fase de balanceo inicial o final
				Asimetrías: Aumento de la inclinación anterior y de la flexión de cadera durante el balanceo final en el lado lesionado y reducción en el no

Daly et al., 2016	Datos de movimiento (10 s carrera a 20 km/h, tapiz rodante) utilizando un sistema de análisis de movimiento infrarrojo + marcadores (pelvis y EI). Los datos cinemáticos se alinearon con el golpe de talón, se interpolaron y se trazaron en 101 puntos de tiempo para cada zancada	Medidas cinemáticas de los 3 planos para la pelvis, la cadera, la rodilla y el tobillo y se compararon entre las extremidades lesionadas (HL) y las no lesionadas (CL)	N/A	lesionado (asimetrías máximas de 8° y 4° en el movimiento de la cadera y la pelvis respectivamente), grado de asimetría insignificante detectado en los controles, asimetría en el plano transversal (6°) en la rodilla del GL durante las fases de balanceo final y apoyo inicial y mayor rotación medial de la rodilla en la fase de apoyo inicial en la extremidad lesionada del GL
<p>BF = Bíceps femoral. CL = Contralateral. clBF = Cabeza larga del bíceps femoral. D = Derecho/a. EI = Extremidades inferiores. ES = Extremidades superiores. FH0 = Fuerza horizontal máxima teórica. FH = Fuerza horizontal. fPCA = Análisis funcional de componentes principales. fPCs = Componentes principales funcionales. FRS= Fuerza de reacción al suelo. FV = Fuerza vertical. F-v = Fuerza-velocidad. GL = Grupo lesionados. GNL = Grupo no lesionados. HL = Homolateral. I = Izquierdo/a. LP = Longitud paso. MIT = Músculos isquiotibiales. MPE = Mapeo paramétrico estadístico. N/A = No aplicable. PdF = Placa de fuerza. Pmax = Potencia máxima horizontal. PSR = Prueba de sprint repetido. RHB = Rehabilitación. Sm = Semimembranoso. SM = Submáxima. St = Semitendinoso. TA = Tiempo de apoyo. TC = Tiempo de contacto. TCIV = Tasa de carga instantánea vertical. TCMV = Tasa de carga media vertical. TV = Tiempo de vuelo. Vmax = Velocidad máxima. V0 = Velocidad máxima teórica.</p>				

5. DISCUSIÓN

En cuanto a las variables cinemáticas, los estudios de Schache et al. (16), Lee et al. (25) y Higashihara et al. (28) mostraron una menor flexión de cadera durante la fase de balanceo en las extremidades lesionadas. Adoptando una perspectiva compensatoria, esta reducción podría representar un esfuerzo subconsciente de los atletas para reducir el estiramiento de los músculos isquiotibiales en esta fase, evitando así que se vuelvan a lesionar (30). En contraposición a estos hallazgos, Higashihara et al. observaron una mayor flexión de cadera en la extremidad lesionada (28), al igual que Daly et al. que también objetivaron una mayor anteversión de la pelvis en los sujetos lesionados (17). Los hallazgos prospectivos de Schuermans et al. (19) están en consonancia con el aumento de la anteversión de Daly et al. (17) y, además, objetivaron una menor estabilidad toracopélvica en los sujetos lesionados (19). No obstante, su análisis retrospectivo no objetivó ninguna asociación entre lesión previa y cinemática (19). Por el contrario, Higashihara et al. encontraron una disminución de la anteversión en la extremidad lesionada (28). Los incrementos en el movimiento del plano sagital-coronal del tronco y la pelvis sugieren que los jugadores más vulnerables a las lesiones de la musculatura isquiotibial sufren de una falta de control proximal y de insuficiente capacidad disociativa dentro del complejo lumbo-pélvico-cadera, provocando un patrón de carrera menos seguro (19).

La anteversión tiende a aumentar en los atletas que presentan una menor extensión de la cadera (31,32), como ocurre en el estudio de Ciacci et al., que también objetivaron una mayor flexión de rodilla en la extremidad lesionada (26). De hecho, mayores valores de anteversión se han relacionado con un mayor riesgo de lesión (32). En el estudio de Kenneally-Dabrowski et al. los atletas que se lesionaron presentaron una mayor flexión lateral torácica hacia el lado ipsilateral (23), en consonancia con la mayor flexión de tronco de Schache et al. (16) y con los resultados de Schuermans et al. (19), objetivando la importancia de la estabilidad del core para prevenir la lesión de los músculos isquiotibiales durante la carrera (19). No podemos comparar los resultados de Daly et al. (17) con el resto de estudios nombrados debido a que ellos evaluaron la biomecánica en una cinta en lugar de analizar el sprint sobre suelo. Además, hay que tener en cuenta que los estudios de Lee et al. (25), Schache et al. (16) y Higashihara et al. (28) no incluyeron un grupo control.

En referencia a las variables cinéticas, Kenneally-Dabrowski et al. encontraron mayores momentos de extensión de cadera durante la fase de balanceo en los atletas lesionados (23), al igual que Heiderscheit et al., que también los observaron para la flexión de rodilla (29). Además, Schache et al. encontraron un mayor par extensor de cadera en la extremidad lesionada durante el apoyo inicial (16). En la fase de balanceo ocurren el estiramiento y la fuerza máxima de la musculatura isquiotibial, la cual experimenta grandes cargas (33). Un gran momento de extensión de cadera podría suponer una mayor transferencia de energía al tronco, contribuyendo a un menor control del mismo y una gran exigencia para los músculos isquiotibiales que también debe absorber el trabajo negativo de la rodilla (23). Johnson y Davis encontraron mayores tasas de carga en los sujetos lesionados (15), al igual que el caso de Schache et al., donde la pierna lesionada también presentó mayores valores para la fuerza de reacción al suelo (16). Por lo tanto, existe un mayor riesgo de lesión, sobre todo en la fase de apoyo inicial, debido a la fuerza de reacción al suelo y a la enorme carga que sufren los músculos isquiotibiales (33).

La pierna o sujetos lesionados experimentaron una menor absorción de potencia de la cadera, rodilla y los músculos isquiotibiales en los estudios de Schache et al. (16,27). Sin embargo, los sujetos lesionados de Kenneally-Dabrowski et al. obtuvieron mayores valores en la absorción de potencia de la rodilla durante el balanceo final (23). La absorción de potencia máxima de la rodilla se produce poco después del 50% del balanceo final (23) reflejando una gran cantidad de trabajo negativo de la musculatura isquiotibial, el cual parece estar asociado con la susceptibilidad a las lesiones de estos músculos (11,34). Mendiguchia et al. objetivaron un aumento de la fuerza horizontal en el jugador de rugby que se lesionó (21). No obstante, los resultados obtenidos de Brughelli et al. (18), Lord et al. (22), Mendiguchia et al. (24) y los atletas restantes del estudio de Mendiguchia et al. (21) mostraron una disminución de la fuerza horizontal en la pierna o sujetos lesionados. También se objetivó, producida por la fatiga, una menor potencia máxima horizontal en los futbolistas de Mendiguchia et al. (24), la cual podría estar vinculada a la disminución de la fuerza horizontal más que a la fuerza total producida (9).

En cuanto a la longitud de la musculatura isquiotibial, Slider et al. no detectaron asimetrías significativas en el estiramiento máximo de dicha musculatura (20). Estos resultados están de acuerdo con los estudios de Brughelli et al. (18), Lee et al. (25) y el caso de Heiderscheit et al. (29), estos últimos objetivando también, en la extremidad

lesionada, unos mayores ángulos de flexión de cadera y rodilla correspondientes a esa longitud máxima. La heterogeneidad del deporte de la población de Slider et al. (20) podría contribuir a observaciones similares a las de Lee et al. (25). Sin embargo, Brughelli et al. que incluían un grupo más homogéneo tampoco encontraron diferencias significativas (18). Por el contrario, Schache et al. objetivaron un aumento de la longitud máxima de la musculatura isquiotibial (27) al igual que en el caso de Schache et al., donde se produjo una mayor extensión de rodilla en la extremidad que se lesionó incrementando también la longitud (16). Un aumento de la anteversión, la flexión de cadera y la extensión de rodilla pueden suponer una mayor longitud miotendinosa de la musculatura isquiotibial durante la fase de balanceo final, siendo la fase más peligrosa al alcanzar las longitudes máximas de este grupo muscular (3,25). No obstante, los resultados de Higashihara et al. demostraron los resultados opuestos, ya que la extremidad previamente lesionada mostraba una mayor flexión de rodilla (28).

Las principales limitaciones de esta revisión son la inclusión de series de casos, reduciendo la calidad metodológica de los resultados al no existir un grupo control, la limitada cantidad de publicaciones encontradas y la escasa muestra presente en la mayoría de estudios que, además, presentaba grandes diferencias acerca del deporte practicado, la definición de la lesión y el tiempo que había pasado desde la misma. Finalmente, muchos de los estudios presentan una naturaleza retrospectiva de los análisis, no pudiendo determinar si las diferencias observadas son causa o efecto de la lesión.

Para futuras investigaciones se debería utilizar una mayor muestra y una misma clasificación de la lesión para todos los deportistas, reduciendo así la variabilidad sobre lo que se considera lesión, así como especificar el grado y la localización exacta de la misma. Además, se debería incorporar un mayor número de mujeres deportistas para ampliar los conocimientos en cuanto a biomecánica y lesión de los músculos isquiotibiales. También, se deberían unificar unos criterios acerca de la medición de la carrera (tapiz rodante vs suelo, velocidad máxima vs submáxima, tiempo de medición...).

Finalmente, el análisis de la biomecánica de la carrera puede permitir a los fisioterapeutas identificar diferencias y asimetrías entre sujetos o entre extremidades asociadas a una mayor carga o relacionadas con la lesión de los músculos isquiotibiales. Además, realizar esos análisis podría dirigir intervenciones enfocadas a disminuir dichas asimetrías.

6. CONCLUSIÓN

En base a la evidencia actual, los atletas que sufrieron una lesión de la musculatura isquiotibial o el análisis de las extremidades lesionadas, en comparación con los deportistas no lesionados o las extremidades sanas, presentaron mayores valores para las tasas de carga y la flexión de tronco y, menores valores en la fuerza horizontal. Estas variables cinemáticas y cinéticas sí parece que tengan relación con la lesión de los músculos isquiotibiales suponiendo una mayor carga y una carrera menos segura.

Sin embargo, se necesitan más estudios que analicen las variables biomecánicas de esta revisión, con atletas y metodologías similares para poder afirmar aquellas que sí están relacionadas con este tipo de lesión.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Balius R, Pedret C, Iriarte I, Sáiz R, Cerezal L. Sonographic landmarks in hamstring muscles. *Skeletal Radiol.* 2019;48(11):1675–83.
2. Danielsson A, Horvath A, Senorski C, Alentorn-Geli E, Garrett WE, Cugat R, et al. The mechanism of hamstring injuries- A systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):1–21.
3. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring strain injuries: Factors that Lead to injury and re-Injury. *Sport Med.* 2012;42(3):209–26.
4. Erickson LN, Sherry MA. Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *J Sport Heal Sci.* 2017;6(3):262–70.
5. Chu SK, Rho ME. Hamstring injuries in the athlete: Diagnosis, treatment, and return to play. *Curr Sports Med Rep.* 2016;15(3):184–90.
6. Liu H, Garrett WE, Moorman CT, Yu B. Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *J Sport Heal Sci.* 2012;1(2):92–101.
7. Valle X, Malliaropoulos N, Párraga Botero JD, Bikos G, Pruna R, Mónaco M, et al. Hamstring and other thigh injuries in children and young athletes. *Scand J Med Sci Sport.* 2018;28(12):2630–7.
8. Kalema RN, Duhig SJ, Williams MD, Donaldson A, Shield AJ. Sprinting technique and hamstring strain injuries: A concept mapping study. *J Sci Med Sport.* 2022;25(3):209–15.
9. Huygaerts S, Cos F, Cohen DD, Calleja-González J, Guitart M, Blazevich AJ, et al. Mechanisms of hamstring strain injury: Interactions between fatigue, muscle activation and function. Vol. 8, *Sports.* 2020.
10. Hickey JT, Opar DA, Weiss LJ, Heiderscheit BC. Hamstring Strain Injury Rehabilitation. *J Athl Train.* 2022;57(2):125–35.
11. Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, Brown NAT, Pandy MG. Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(4):647–58.
12. Kenneally-Dabrowski CJB, Brown NAT, Lai AKM, Perriman D, Spratford W, Serpell BG. Late swing or early stance? A narrative review of hamstring injury mechanisms during high-speed running. *Scand J Med Sci Sport.* 2019;29(8):1083–91.

13. Malliaropoulos N, Isinkaye T, Tsitas K, Maffulli N. Reinjury after acute posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am J Sports Med*. 2011;39(2):304–10.
14. Howard RM, Conway R, Harrison AJ. Muscle activity in sprinting: a review. *Sport Biomech*. 2018;17(1):1–17.
15. Johnson CD, Davis IS. A comparison of ground reaction force waveforms and step length between recreational endurance runners with hamstring injuries and healthy controls. *Clin Biomech*. 2021;84(January).
16. Schache AG, Wrigley T V., Baker R, Pandy MG. Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait Posture*. 2009;29(2):332–8.
17. Daly C, Mccarthy Persson U, Twycross-Lewis R, Woledge RC, Morrissey D. The biomechanics of running in athletes with previous hamstring injury: A case-control study. *Scand J Med Sci Sport*. 2016;26(4):413–20.
18. Brughelli MATT, Cronin JOHN, Mendiguchia JU, Kinsella DAVEK. Contralateral Leg Deficits In Kinetic And Kinematic Variables During Running In Australian Rules Football Players With Previous Hamstring Injuries. *J Strength Cond Res*. 2010;24(9):2539–44.
19. Schuermans J, Van Tiggelen D, Palmans T, Danneels L, Witvrouw E. Deviating running kinematics and hamstring injury susceptibility in male soccer players: Cause or consequence? *Gait Posture*. 2017;57(June):270–7.
20. Silder A, Thelen DG, Heiderscheit BC. Effects of prior hamstring strain injury on strength, flexibility, and running mechanics. *Clin Biomech*. 2010 Aug;25(7):681–6.
21. Mendiguchia J, Edouard P, Samozino P, Brughelli M, Cross M, Ross A, et al. Field monitoring of sprinting power–force–velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. *J Sports Sci*. 2015 Mar 18;34(6):535–41.
22. Lord C, Blazeovich AJ, Drinkwater EJ, Ma’ayah F. Greater loss of horizontal force after a repeated-sprint test in footballers with a previous hamstring injury. *J Sci Med Sport [Internet]*. 2019;22(1):16–21. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.008>
23. Kenneally-Dabrowski C, Brown NAT, Warmenhoven J, Serpell BG, Perriman D, Lai AKM, et al. Late swing running mechanics influence hamstring injury susceptibility in elite rugby athletes: A prospective exploratory analysis. *J Biomech [Internet]*. 2019;92:112–9. Available from:

- <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.05.037>
24. Mendiguchia J, Samozino P, Martinez-Ruiz E, Brughelli M, Schmikli S, Morin JB, et al. Progression of mechanical properties during on-field sprint running after returning to sports from a hamstring muscle injury in soccer players. *Int J Sports Med*. 2014;35(8):690–5.
 25. Lee MJC, Reid SL, Elliott BC, Lloyd DG. Running biomechanics and lower limb strength associated with prior hamstring injury. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(10):1942–51.
 26. Ciacci S, Di Michele R, Fantozzi S, Merni F, Mokha M. Assessment of kinematic asymmetry for reduction of hamstring injury risk. *Int J Athl Ther Train*. 2013;18(6):18–23.
 27. Schache AG, Kim HJ, Morgan DL, Pandy MG. Hamstring muscle forces prior to and immediately following an acute sprinting-related muscle strain injury. *Gait Posture* [Internet]. 2010;32(1):136–40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.03.006>
 28. Higashihara A, Ono T, Tokutake G, Kuramochi R, Kunita Y, Nagano Y, et al. Hamstring muscles' function deficit during overground sprinting in track and field athletes with a history of strain injury. *J Sports Sci* [Internet]. 2019;37(23):2744–50. Available from: <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1664030>
 29. Heiderscheit BC, Hoerth DM, Chumanov ES, Swanson SC, Thelen BJ, Thelen DG. Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: A case study. *Clin Biomech*. 2005;20(10):1072–8.
 30. Lloyd D. Moving away from traditional foci may help us understand sporting performance and injuries. *J Sci Med Sport*. 2006;9(4):275–6.
 31. Franz JR, Paylo KW, Dicharry J, Riley PO, Kerrigan DC. Changes in the coordination of hip and pelvis kinematics with mode of locomotion. *Gait Posture*. 2009;29(3):494–8.
 32. Schache AG, Blanch PD, Murphy AT. Relation of anterior pelvic tilt during running to clinical and kinematic measures of hip extension. *Br J Sports Med*. 2000;34(4):279–83.
 33. Sun Y, Wei S, Zhong Y, Fu W, Li L, Liu Y. How joint torques affect hamstring injury risk in sprinting swing-stance transition. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(2):373–80.

34. Brooks S V., Zerba E, Faulkner JA. Injury to muscle fibres after single stretches of passive and maximally stimulated muscles in mice. *J Physiol.* 1995;488(2):459–69.

8. ANEXOS

Anexo 1. Adjusted Downs and Black Quality Assessment Checklist

Reporting				
1. <i>Is the hypothesis/aim/objective of the study clearly described?</i> This item is only rated as a Yes, if both aim/purpose <u>and</u> hypothesis are described. In case the study design does not allow any hypothesis or the direction of the study is so novel that no prior hypothesis can be formed, and this is made clear in the introduction, the item should be rated as a Yes.	Yes	No	U	
2. <i>Are the main outcomes to be measured clearly described in the Introduction or Methods section?</i> If the main outcomes are first mentioned in the Results section, the question should be answered No.	Yes	No	U	
3. <i>Are the characteristics of the participants included in the study clearly described?</i> In cohort studies and trials, inclusion and/or exclusion criteria should be given. In case-control studies, a case-definition and the source for controls should be given. The type of disability should be clearly described. For athletes with a spinal cord injury it has to be indicated (at least) if they are tetraplegic or paraplegic for this item to be rated with a Yes. If it is clear from the inclusion criteria which participants are excluded, rate this item as a Yes. If this is not clear and the study does not mention any exclusion criteria, rate this items as a No.	Yes	No	U	
5. <i>Are the distributions of principal confounders in each group of subjects to be compared clearly described?</i> The main confounders of our study are: sex, age, disability, training status, body-mass. Secondary confounders are: testing moment during the season and test mode. For scoring 2 points all five main confounders need to be described. The criteria for describing the disability in enough details are the same as for item 3. For scoring 1 point four of the five main confounders plus one secondary confounder need to be mentioned.	Yes (2)	Yes (1)	No	U
6. <i>Are the main findings of the study clearly described?</i> Simple outcome data (including denominators and numerators) should be reported for all major findings so that the reader can check the major analyses and conclusions. In the case of this review, the number of participants has to be given, as well the VO _{2peak} values. (This question does not cover statistical tests which are considered below).	Yes	No	U	
7. <i>Does the study provide estimates of the random variability in the data for the main outcomes?</i> In non-normally distributed data the inter-quartile range of results should be reported. In normally distributed data the standard error, standard deviation or confidence intervals should be reported. If the distribution of the data is not described, it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered Yes. If no mean and SD are calculated and only individual items are provided, rate this item as a No.	Yes	No	U	
External Validity All the following criteria attempt to address the representativeness of the findings of the study and whether they may be generalized to the population from which the study subjects were derived.				
11. <i>Were the subjects asked to participate in the study representative of the entire population from which they were recruited?</i> The study must identify the source population for participants and describe how the participants were selected. Participants would be representative if they comprised the entire source population, an unselected sample of consecutive participants, or a random sample. Random sampling is only feasible where a list of all members of the relevant population exists. Where a study does not report the proportion of the source population from which the patients are derived, the question should be answered as unable to determine. The source population in our review is defined as athletes with a disability in the respective sports.	Yes	No	U	N/A

12. <i>Were those subjects who were prepared to participate representative of the entire population from which they were recruited?</i> The proportion of those asked who agreed should be stated. Validation that the sample was representative would include demonstrating that the distribution of the main confounding factors was the same in the study sample and the source population.	Yes	No	U	N/A
Internal validity – bias				
20. <i>Were the VO_{2peak} measure used accurate (valid and reliable)?</i> Studies have to report on the reliability and validity of the test equipment, test mode and if people with a disability (note: here we do not refer to athletes) were tested. For studies which refer to other work that demonstrates the outcome measures are accurate, the question should be answered as Yes. Both, pilot testing or referring to the work of others are sufficient to rate this item as a Yes. Referring to reliability and variability estimates performed on able-bodied participants is considered sufficient and the item will be rate as a Yes.	Yes	No	U	N/A
Internal validity - confounding (selection bias)				
21. <i>Were the participants in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited from the same population?</i> The question should be answered unable to determine for cohort and case control studies where there is no information concerning the source of patients included in the study. The source population in this review is defined as athletes with a disability in the respective sports.	Yes	No	U	N/A
22. <i>Were study participants in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited over the same period of time?</i> For a study which does not specify the time period over which patients were recruited, the question should be answered as unable to determine.	Yes	No	U	N/A
25. <i>Was there adequate adjustment for confounding in the analyses from which the main findings were drawn?</i> This item should be rated as a Yes, if the criteria for verification of maximal effort are explicitly stated. Verification of maximal effort should at least contain two of the following five minimum criteria: 1) respiratory exchange ratio (RER) of 1.05 or higher, 2) a concentration of lactate in blood ($[La^-]_b$) of 7 mmol/liter or greater, and 3) a subjective rating of perceived exertion (RPE) with a BORG scale score of 15 or higher, 4) no increase in VO_2 despite further increases in intensity or 5) reaching a maximal heart rate within 10 beats/min of an individual's age-predicted maximum (calculated as $220 - \text{age}$). Alternatively, the verification of maximal effort is also considered to be achieved in case a verification test was performed. Any studies which did not report on the verification of maximal effort or which include criteria below the above described, should be rated with a No. Deviating criteria should be specifically noted in the comments box provided to the right.	Yes	No	U	N/A

Yes (1 point), No (0 points), U = unable to determine (0 points), N/A = not applicable (question excluded from quality analysis)