



Revisión

Revisión sobre la lesión de la musculatura isquiotibial en el deporte: factores de riesgo y estrategias para su prevención

M. de Hoyo^{a,b}; J. Naranjo-Orellana^{b,c}; L. Carrasco^a; B. Sañudo^a; J. J. Jiménez-Barroca^b y S. Domínguez-Cobo^b

^aDepartamento de Educación Física y Deporte. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.

^bServicios Médicos del Sevilla Fútbol Club Sociedad Anónima Deportiva. Sevilla, España.

^cDepartamento de Deporte e Informática. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla, España.

Historia del artículo:

Recibido: el 2 de junio de 2012

Aceptado: el 1 de septiembre de 2012

Palabras clave:

Lesión isquiotibial.

Factores de riesgo.

Prevención.

Key words:

Hamstring injury.

Risk factors.

Prevention.

RESUMEN

La lesión aguda de la musculatura isquiotibial es una de las más frecuentes en el ámbito deportivo, presentando una alta incidencia e, incluso, una elevada tasa de recurrencia. Ambos fenómenos se han relacionado a menudo con la ineficacia de las estrategias utilizadas para prevenir la aparición de esta lesión, ya que éstas no tienen en consideración, en muchas de las ocasiones, el carácter multifacético de la lesión. Además, la evidencia científica sobre los factores de riesgo asociados a la lesión isquiotibial es limitada aún, lo que dificulta el desarrollo de estrategias de prevención apropiadas. En base a lo expuesto, los objetivos de esta revisión son: analizar los factores de riesgo asociados a esta lesión y, de acuerdo a estos, describir las estrategias utilizadas para prevenir dichas lesiones.

© 2013 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Review on the hamstring muscle injury in sport: risk factors and prevention strategies

Acute hamstrings injury is one of the most common in sport, presenting a high incidence and even a high recurrence rate. Both are often associated with the ineffectiveness of the strategies used to prevent the occurrence of this injury, because they do not take into consideration, in many instances, the multifaceted nature of the injury. In addition, scientific evidence about the risk factors associated with hamstring injury is still low, limiting the development of appropriate prevention strategies. Based on the above, the aims of this review are: analyze the risk factors associated with this injury and, according to them, describe the strategies used to prevent injuries.

© 2013 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

Correo electrónico: dehoyolora@us.es

M. de Hoyo Lora.

Departamento de Educación Física y Deporte.

Universidad de Sevilla.

Avda. Pirotecnia, s/n

40013. Sevilla. España.

Introducción

La lesión de los isquiotibiales constituye un porcentaje importante del total de las lesiones músculo-esqueléticas agudas producidas durante actividades deportivas realizadas tanto a nivel profesional como *amateur*¹⁻³. De esta forma, diferentes atletas, tales como corredores⁴ y los participantes en disciplinas deportivas de equipo como el fútbol, el rugby, el baloncesto, el cricket o el fútbol australiano⁵⁻⁸, son especialmente propensos a padecer esta lesión. La prevalencia de dicha lesión reportada en diferentes estudios se encuentra entre el 8 y el 25%⁹⁻¹² dependiendo del deporte en cuestión. Además, esta lesión presenta un alto riesgo de recurrencia, la cual se suele producir dentro de las dos primeras semanas después del regreso al entrenamiento normalizado, fijándose ésta, durante la primera semana, en torno al 13%, en un 8% durante la segunda semana y en un 34% de los casos para el riesgo acumulado durante toda la temporada¹³.

En cuanto a la localización más frecuente de la lesión, la literatura científica refleja al bíceps femoral y, concretamente, a su porción larga, como el lugar donde habitualmente se localiza el daño muscular^{14,15}. Este grupo muscular tiene la capacidad de producir grandes fuerzas¹⁶, lo que tiene una importante repercusión en aquellas situaciones deportivas que impliquen aceleraciones, acciones a alta velocidad y cambios de dirección. Así, la evidencia científica reciente ha sugerido que esta musculatura es vulnerable a las lesiones en los instantes finales de la fase de "balanceo" durante la carrera, donde hay un rápido cambio de una función de tipo concéntrico a excéntrico, cuando la pierna está desacelerando para impactar contra el suelo¹⁷. Durante la segunda fase del "balanceo" los isquiotibiales se activan, estirándose y actuando excéntricamente para desacelerar la cadera, al mismo tiempo que se extiende la rodilla para preparar el contacto del talón con el suelo^{4,18-20}. Este mecanismo lesional es el que justifica en gran medida la prevalencia de esta lesión en deportes que suponen actividades como *sprint*, aceleraciones, desaceleraciones, rápidos cambios de dirección y saltos^{4,21}. El mayor estiramiento músculo-tendinoso se produce sobre el bíceps femoral¹⁸, lo que puede contribuir a que éste sea el músculo que mayor tendencia tiene a lesionarse²². Por otro lado, cuando la lesión se produce por un sobreestiramiento, la localización más común es el tendón proximal del semimembranoso^{23,24}. La figura 1 muestra los tres músculos que componen el grupo isquiotibial, así como las fases de la carrera y su relación con la tensión que se genera sobre esta musculatura.

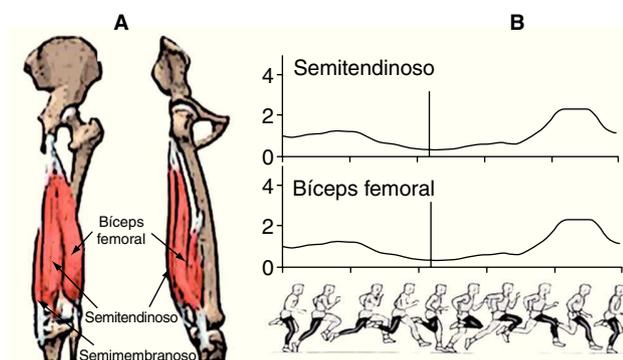


Fig. 1. A. El conjunto de los isquiotibiales, formado por semimembranoso, semitendinoso y bíceps femoral, siendo la porción larga de este último el músculo que comúnmente se lesiona durante las acciones de velocidad. B. Durante la fase de balanceo los isquiotibiales se activan y estiran simultáneamente, absorbiendo la energía del miembro inferior y creando unas condiciones óptimas para la lesión.

Varios factores han sido considerados como favorecedores del riesgo de lesión de la musculatura isquiotibial. Dicha lesión puede ocurrir debido a un solo factor, pero es probable que en la mayoría de las ocasiones la lesión se produzca como resultado de una interacción entre varios factores, lo que sugiere un enfoque multimodal y multidisciplinario en cuanto a las estrategias de prevención^{25,26}. En este sentido, son diversas las estrategias de prevención utilizadas por entrenadores, preparadores físicos y fisioterapeutas para reducir la aparición de este tipo de lesiones, tales como estiramientos, trabajo muscular excéntrico, estabilización lumbo-pélvica, entre otras muchas^{5,23,27-29}.

En base a lo expuesto, en el presente trabajo pretendemos, por un lado, analizar cuáles son estos factores de riesgo que guardan una relación directa con la aparición de la lesión y, por otro, establecer cuáles son las estrategias más adecuadas para prevenir esta lesión, tomando como referencia dichos factores de riesgo, así como la evidencia científica existente en lo relativo a las diferentes medidas preventivas utilizadas habitualmente. De esta forma, para llevar a cabo esta revisión se realizó una búsqueda bibliográfica en diferentes bases de datos (Science Citation Index, Scopus, SPORTDiscus, MedLine y EbscoHost), utilizando los siguientes descriptores en el título: "*hamstring injury*", "*hamstring strain*", "*risk factor of hamstring injury*" y "*prevention of hamstring strains*". Para ser incluido, el estudio debía aportar información relativa a las variables en las que se centra esta investigación (factores de riesgo y estrategias de prevención). Además, sólo se incluyeron artículos originales escritos en inglés, publicados en revistas con proceso de revisión a ciegas por pares y que fueran posteriores a 1995, con objeto de realizar una revisión de los artículos publicados en los últimos años. Los estudios que no utilizaron como muestra sujetos deportistas también fueron excluidos de la revisión. Los documentos fueron leídos y se llegó a un consenso sobre su inclusión en el estudio.

Factores de riesgo

Entre los factores de riesgo que pueden favorecer la lesión de la musculatura isquiotibial encontramos aquellos sobre los que no podemos intervenir y que, por tanto, no son modificables, como pueden ser la edad y raza del deportista y una historia previa de lesión de similares características^{9,11,30-33}. Entre los factores modificables, la literatura científica incluye la falta de fuerza y flexibilidad o la fatiga^{34,35}, siendo el desequilibrio de fuerza entre los agonistas y antagonistas una de las medidas predictoras más importantes^{29,36-38}. Además, la limitación de flexibilidad del cuádriceps¹¹ o un déficit de fuerza y coordinación de la musculatura de la pelvis y tronco puede contribuir a aumentar el riesgo de lesión^{27,31,32,39}. A continuación analizaremos de forma pormenorizada los factores de riesgo más relevantes.

Lesión previa de la musculatura isquiotibial

Probablemente, el factor de riesgo más importante para la rotura isquiotibial es la existencia de una lesión anterior en dicha musculatura. Así, estudios previos han reflejado que aquellos deportistas con una historia previa de lesión isquiotibial presentan de dos a seis veces más probabilidades de sufrir una recaída a lo largo de su vida deportiva^{17,31,40-42}. La mayoría de las recaídas se suelen producir dentro de los dos primeros meses después del regreso a la competición, aunque el riesgo continúa en el tiempo^{24,41}. El tamaño y la gravedad de la lesión inicial no se ha

podido asociar de forma significativa con la recurrencia dentro de una misma temporada⁴³. Sin embargo, los deportistas con grandes lesiones sí presentan un riesgo de recurrencia significativamente mayor dentro de las dos siguientes temporadas⁴⁴.

En cuanto a la causa de este fenómeno, hoy día existe un gran debate, justificándose por la realización de una rehabilitación inadecuada, por un regreso prematuro a la práctica normalizada, o porque la lesión inicial genera un riesgo intrínseco por sí misma^{10,17,41,45}. Algunos autores consideran que el músculo esquelético, incluidos los isquiotibiales, corre el riesgo de volver a lesionarse debido a la formación del tejido cicatricial y a la reorganización arquitectónica de las nuevas fibras musculares^{9,17}. Otro problema lo determina el tamaño (medido por la imagen) y la gravedad (que se define por el número de días de competición perdidos) desde la lesión inicial, lo cual puede determinar la posible recurrencia⁴⁶. Así, mientras Koulouris y Connel⁴³ no encontraron relación alguna entre ambos fenómenos, Woods et al.⁴⁴ observaron un alto riesgo de recurrencia en lesiones severas que superaban los 18 días de baja deportiva. Otras lesiones pueden predisponer al deportista a la rotura de los isquiotibiales, lo que refuerza la teoría de que estos músculos forman parte de una cadena cinética más larga³¹. Una historia previa de lesiones en los gemelos o el cuádriceps, lesión en la rodilla, afectación del pubis u osteítis, pueden aumentar el riesgo de padecer una rotura muscular de los isquiotibiales^{17,31}. Como posible explicación a dicha relación, se ha propuesto que ésta puede deberse a que la biomecánica de la carrera se altera después de una lesión de la extremidad inferior, predisponiendo al deportista a sufrir una lesión en la musculatura isquiotibial³¹. Así por ejemplo, jugadores de fútbol australiano con una lesión previa de gemelos fueron 1,7 veces más propensos a padecer roturas de los isquiotibiales, mientras que deportistas con una lesión previa de rodilla ($p < 0,01$) o con una historia de osteítis de pubis ($p < 0,05$) tuvieron también un mayor riesgo¹⁷. La relación entre la rotura de isquiotibiales con una lesión previa de espalda también ha sido investigada, no estableciéndose una relación estadísticamente significativa¹⁷.

Fuerza e imbalances musculares

En la actualidad, la evidencia científica sobre la influencia de la debilidad muscular de los isquiotibiales como factor de riesgo es contradictoria⁴⁷. La falta de fuerza de los músculos isquiotibiales ha sido uno de los factores de riesgo que con más frecuencia se ha asociado con la lesión de dicha musculatura^{48,49}. Así por ejemplo, se ha sugerido que una falta de fuerza de los isquiotibiales no permite al deportista contrarrestar al cuádriceps durante la extensión de la rodilla en la fase final del "balanceo" de la carrera⁴⁹. En este sentido, Bennel et al.⁴⁰ analizaron el torque máximo durante la pretemporada, así como durante la temporada, en deportistas de equipos de fútbol australiano, no observándose diferencias entre los jugadores lesionados y no lesionados. Además, estos autores indicaron que un déficit de un 10% entre ambas piernas no fue un factor predictor estadísticamente significativo, si bien, la muestra utilizada era de 12 sujetos, lo cual puede limitar estas apreciaciones. Del mismo modo, Arnason et al.⁴¹ no encontraron una relación estadísticamente significativa entre la potencia muscular de los isquiotibiales y la tasa de lesiones en jugadores profesionales de fútbol. No obstante, en un estudio previo, Yamamoto⁵⁰ sí encontró una relación estadísticamente significativa entre la menor fuerza de estos músculos y la incidencia lesional, de forma que la extremidad lesionada presentaba un nivel de fuerza menor en comparación con el lado sano. Igualmente, Orchard³¹, tras ana-

lizar un total de 672 lesiones de isquiotibiales en fútbol americano, también identificó este déficit de fuerza en relación a la pierna no lesionada como factor de riesgo. Bajo este mismo punto de vista, Orchard et al.⁵¹ encontraron que aquellos jugadores que sufrieron esta lesión durante la temporada habían mostrado en un análisis previo durante pretemporada un desbalance en el ratio entre la fuerza de los isquiotibiales lesionados y los isquiotibiales no lesionados (ISQ/ISQnl) a una velocidad de 60°/s, no observándose diferencias cuando las velocidades fueron de 180 y 300°/s. Del mismo modo, mientras que una diferencia superior al 10% entre el torque máximo de las dos piernas para la fuerza de los isquiotibiales (ISQ/ISQnl < 0,9) ha sido propuesto como un factor de riesgo para sufrir esta lesión⁵¹, Bennel et al.⁴⁰, como ya se ha comentado, observaron en su estudio que éste no fue un factor predictor de dicha lesión.

Atendiendo a este fenómeno, es obvio considerar también que un desequilibrio de fuerza entre la musculatura agonista/antagonista puede predisponer a padecer esta lesión⁴⁸. De ahí que, frecuentemente, ambos factores se estudien de forma conjunta³². En este sentido, Prior et al.⁴⁷ nos indican que el estudio de los desequilibrios entre la musculatura del muslo puede desempeñar un papel más relevante que la fuerza analizada de forma aislada para conocer el riesgo de lesión. Con respecto al análisis de estos desequilibrios en los ratios isquiotibiales/cuádriceps (ISQ/Q), Cameron et al.⁶ relacionaron el fenómeno con un incremento de la fuerza del cuádriceps más que con una debilidad de los isquiotibiales. Esto sugiere que los isquiotibiales son incapaces de resistir un aumento excesivo de la fuerza del cuádriceps, lo que favorecería un aumento en el riesgo de lesión³². Los resultados de Yamamoto et al.⁵⁰ apoyan esta teoría, aunque otros estudios no encontraron que esta diferencia fuera predictiva de la lesión isquiotibial⁴⁰. Varios son los índices propuestos que relacionan la fuerza de los isquiotibiales y el cuádriceps, no obstante, no está claro si estos trastornos son la consecuencia de una lesión, o bien el factor causante de la misma, o ambas cosas²⁵. Tampoco está claro cuál es la forma más adecuada de llevar a cabo el test, si de forma concéntrica o buscando una contracción de tipo excéntrico⁵², más acorde con el mecanismo de lesión. Para la evaluación de la existencia de este desequilibrio muscular parece que lo más adecuado es replicar el mecanismo lesional propuesto, donde los isquiotibiales actúan de forma excéntrica y el cuádriceps de forma concéntrica³². Además, Dauty et al.⁵³ no logró demostrar si un análisis isocinético de tipo concéntrico podía identificar lesiones previas de isquiotibiales, si bien el torque excéntrico sí pudo. Durante el mecanismo lesional más común, como es la fase tardía del "balanceo", la acción excéntrica de los isquiotibiales frena el movimiento de la extremidad inferior, por lo que probablemente las necesidades de ejercer fuerza por parte de los isquiotibiales en este movimiento son mayores en aquellos sujetos que presentan una mayor fuerza en el cuádriceps⁴⁶. Inevitablemente, este fenómeno obliga a los isquiotibiales a una mayor exigencia para poder desacelerar la extremidad inferior. De esta forma, una de las propuestas más acertada para valorar los déficits agonista/antagonista es la realizada por Croisier et al.²⁹, de forma que se estime el ratio ISQ/Q a partir del torque máximo excéntrico de los primeros a una velocidad de 30°/s, y el torque máximo concéntrico del cuádriceps a una velocidad de 240°/s. Según los autores, diferencias mayores a un 20% son indicativas de un riesgo de lesión importante.

Por otro lado, sigue habiendo debate en torno a la velocidad apropiada a la que se debe medir el pico de fuerza. Como hemos comentado, Orchard et al.⁵¹ evaluaron el torque máximo a 60, 180 y 300°/s, encontrando como el ratio ISQ/Q era menor a 60°/s, lo que sugería que ésta era la velocidad más adecuada para medir la presencia de déficits y, por tanto, para obtener una indicación más precisa sobre el riesgo de lesión. No

obstante, otros autores sugieren que una velocidad de 300 °/s puede ser más representativa de la velocidad típica de contracción muscular durante la práctica deportiva⁴⁰, por lo que son necesarias nuevas investigaciones para poder realizar un análisis correcto del riesgo de lesión.

Flexibilidad

Un reciente metaanálisis sugiere que la flexibilidad de los isquiotibiales no presenta ninguna relación significativa con la lesión de esta musculatura⁴⁷. Sólo un estudio realizado por Witvrouw et al.⁵⁴ con futbolistas belgas profesionales ha reportado una asociación significativa entre una menor flexibilidad medida en pretemporada y una mayor incidencia de lesiones de isquiotibiales durante la temporada regular ($p < 0,05$). Sin embargo, los métodos utilizados por estos autores para la medición de la flexibilidad han sido criticados por no ser lo suficientemente específicos como para diferenciar los resultados de la flexibilidad lumbo-pélvica³⁰. Teniendo en cuenta este aspecto, la flexibilidad combinada de isquiotibiales y el complejo lumbo-pélvico también ha sido investigada como factor de riesgo, no encontrándose asociación alguna^{28,30}. Del mismo modo, la elasticidad del sistema nervioso periférico tampoco mostró una asociación significativa con la lesión de la musculatura isquiotibial^{28,55}.

La flexibilidad de otros grupos musculares del muslo, como es el caso del cuádriceps, puede tener más importancia que la propia de los isquiotibiales⁴⁶. Gabbe et al.⁵⁶ encontraron una relación inversa entre el aumento de la flexibilidad del cuádriceps y la incidencia de lesiones en los isquiotibiales. Los atletas que consiguieron una flexión de rodilla mayor a 51° en la prueba de Thomas modificada eran menos propensos a sufrir una lesión de los isquiotibiales. En este mismo estudio, la limitación de flexibilidad de los flexores de cadera también supuso un riesgo significativo para la lesión de los isquiotibiales. Una posible explicación biomecánica a por qué la falta de flexibilidad de los flexores de cadera puede predisponer a los deportistas a padecer esta lesión es que la tensión de estos músculos crea una mayor energía potencial durante la extensión de cadera y la flexión de rodilla en la fase de "prebalanceo" durante la carrera, lo que generaría un aumento de la propulsión de la pierna hacia delante durante la fase de "balanceo" debido al retroceso pasivo de estos músculos, aumentando por tanto la carga excéntrica de los isquiotibiales durante la acción de desaceleración de la pierna⁵⁵.

Fatiga muscular

Muchos son los factores que se asocian con la fatiga, tanto relacionados con el sistema nervioso central y periférico, como con factores locales⁵⁷. Estos incluyen la reducción del contenido de glucógeno en las fibras musculares⁵⁸, incrementos en la activación neural en los músculos fatigados durante las acciones de sprint⁵⁹ y alteraciones en los neurotransmisores del sistema nervioso central y neuromoduladores que alteran el estado psíquico o perceptual⁶⁰. Además, se ha constatado que la fatiga inducida por la repetición de esfuerzos a máxima velocidad causa un cambio significativo en la técnica de carrera⁶¹, lo cual puede contribuir a la lesión. En un modelo animal, Mair et al.⁶² mostraron que un músculo fatigado está menos capacitado para generar fuerza, y por tanto es más susceptible a romperse ante una acción de tipo excéntrico. Por otro lado, la fatiga puede dar lugar a una alteración propioceptiva en los miembros inferiores⁶³ y a nivel lumbo-pélvico⁶⁴, lo que potencialmente

puede contribuir a la lesión isquiotibial como consecuencia de un deficiente control neuromuscular y de una contracción muscular inapropiada²⁵.

En un estudio epidemiológico de lesiones sufridas en jugadores profesionales de fútbol, Woods et al.⁴⁴ mostraron que una gran parte de las roturas musculares en los isquiotibiales se producían al final de la segunda mitad del partido, lo que puede indicar que la fatiga puede estar implicada. En esta misma línea, Dadebo et al.⁶⁵ también mostraron que en jugadores de fútbol profesionales dos de cada tres roturas de isquiotibiales se producían al final de los entrenamientos o los partidos.

Alteraciones lumbo-pélvicas

La presencia de diversas disfunciones a nivel lumbo-pélvico ha sido relacionada con la lesión de la musculatura isquiotibial²⁵. De esta forma, como se ha comentado con anterioridad, una limitación de flexibilidad en los flexores de cadera y del cuádriceps se ha identificado como factor de riesgo en esta lesión⁵⁵. Por otro lado, una excesiva lordosis lumbar también ha sido correlacionada con la presencia de lesión isquiotibial en un grupo de deportistas lesionados frente a un grupo control sin historia previa de lesión⁶⁶. En un estudio retrospectivo, la hiperlordosis lumbar y el dolor lumbar fueron relacionados con la existencia de roturas musculares (isquiotibiales, cuádriceps y aductores) y un defecto corporal concreto fue asociado con el lugar en que se producía la lesión^{67,68}. En este sentido, es importante tener presente que existe una asociación entre la lesión recurrente de la musculatura isquiotibial y los cambios degenerativos a nivel de L5/S1 como consecuencia de un atrapamiento nervioso que es necesario corregir¹³.

Un patrón de desequilibrio muscular habitual a nivel lumbo-pélvico es el conocido bajo del nombre de síndrome cruzado, el cual se manifiesta por rigidez en los flexores de cadera y erectores espinales y una inhibición de los glúteos y los abdominales, que puede dar lugar a una inclinación anterior de la pelvis, a una flexión de cadera y a un aumento de la lordosis lumbar, lo que puede facilitar la aparición de la lesión isquiotibial⁶⁹. En esta línea, un aumento de la cifosis torácica acompañada de disminución de la movilidad en extensión también se ha sugerido como mecanismo favorecedor de una inclinación anterior de la pelvis⁷⁰. La posición de la pelvis en inclinación anterior va a alterar la biomecánica y la función de los isquiotibiales de forma directa, pero también de forma indirecta a través de tensiones fasciales²⁵. Sin embargo, a pesar de estas aportaciones, poca evidencia científica existe sobre si la eliminación de estos factores de riesgo asociados a la biomecánica lumbo-pélvica se traducirá en una prevención de lesiones isquiotibiales.

Otros factores de riesgo

Los estudios también apuntan a la raza y la etnia como factores intrínsecos, siendo los deportistas de raza negra más propensos a sufrir roturas de los isquiotibiales^{17,44}. En el fútbol australiano, los jugadores profesionales aborígenes presentaban 11,2 veces más probabilidades de sufrir esta lesión¹⁷. En jugadores profesionales de fútbol de la liga inglesa se encontró una relación directa entre este tipo de lesiones y los jugadores de raza negra⁴⁴.

El incremento de la edad parece ser el factor de riesgo intrínseco más destacado, mostrando diversos estudios con deportistas una relación estadísticamente significativa^{11,31,42,55}. De esta forma se ha constatado

que los deportistas mayores de 23 años presentan una incidencia de 1,3 a 3,9 veces más riesgo, mientras que en los mayores de 25 años la incidencia asciende hasta 2,8 a 4,4 veces más^{11,55}. Los datos sugieren que el riesgo de lesión aumenta un 30% con cada año de vida deportiva¹⁷. Son diversas las teorías que intentan justificar este fenómeno. Así, Prior et al.⁴⁷ indican que con la edad se produce una reducción del área transversal de los isquiotibiales, de manera que éstos no son capaces de generar la misma tensión requerida para frenar el miembro inferior durante la carrera a alta velocidad. Por su parte, Orchard³¹ indica que este mayor riesgo puede deberse a un proceso de degeneración lumbar asociada a la edad, que da lugar a un pinzamiento de la raíz L5-S1 y a una degeneración de las fibras musculares.

El peso parece ser otro factor relacionado con el riesgo de lesión de esta musculatura, aunque diversos estudios prospectivos no han encontrado una asociación estadísticamente significativa^{17,21,41,51}, mientras que otros estudios sí han encontrado esta relación^{28,31}. En esta misma línea, el índice de masa corporal (IMC) también se ha asociado con el riesgo de lesión, ya sea como lesión inicial o como recurrente, si bien los resultados son contradictorios en este sentido^{17,28,31,41}. Gabbe et al.²⁸ encontraron en jugadores profesionales de fútbol australiano con un IMC superior a 25 que el riesgo de lesión era 2,5 veces mayor que aquellos que tenían un menor IMC.

Por otro lado, la utilización de un calentamiento apropiado ha sido propuesto durante mucho tiempo como un medio fundamental para prevenir las lesiones musculares⁷¹, aunque las lesiones de isquiotibiales se siguen dando después de un calentamiento importante⁷². Después de la realización de un calentamiento se ha observado una disminución de la rigidez muscular⁷³, lo que aumenta la longitud del músculo antes del fracaso, permitiendo por tanto que el músculo sea más resistente ante este tipo de estrés²⁵. Sin embargo, debemos tener presente que la evidencia científica en relación a este aspecto es todavía limitada, por lo que es necesario un mayor número de estudios para poder establecer relaciones.

Estrategias de prevención

Dada la alta incidencia de las lesiones agudas por esfuerzo en los isquiotibiales que se producen en una variedad de deportes y actividades, así como el alto índice de recurrencia existente, hoy día son muchos los equipos y deportistas que incluyen estrategias preventivas en sus rutinas de entrenamiento con objeto de evitar o, al menos limitar, la aparición de estas lesiones. Durante mucho tiempo, las estrategias de prevención que se han sugerido han ido orientadas fundamentalmente a corregir los déficits en la flexibilidad y en la fuerza de los isquiotibiales. Sin embargo, la eficacia de estos programas se limita a unas pocas investigaciones y se ha cuestionado recientemente⁴⁷.

Como se ha comentado, la mejora de la flexibilidad ha sido considerada durante mucho tiempo como la herramienta más adecuada para prevenir las lesiones musculares, siendo la evidencia científica al respecto muy escasa en numerosas ocasiones y sobre todo cuando a muestras de deportistas nos referimos^{36,74}. No obstante, la duración y la frecuencia con la que se realiza el estiramiento han sido relacionados como factores importantes en la eficacia del programa en la reducción de la incidencia de lesiones⁶⁵. De esta forma, Hartig y Henderson⁷⁵ realizaron un estudio prospectivo con dos grupos de militares durante un periodo de 13 semanas. La diferencia entre ambos grupos fue la inclusión en el programa regular de ejercicios de tres sesiones de flexibilidad para la musculatura isquiotibial. El estiramiento se realizó tres veces al día, cinco veces para

cada extremidad durante 30 s. Los resultados mostraron una mejora de la flexibilidad en el grupo experimental en relación al grupo control. Además, el número de lesiones fue menor en el grupo de intervención (tasa de lesión = 16,7%) que en el grupo control (tasa de lesión = 29,1%). Estos resultados deben tomarse con cautela, ya que la muestra utilizada no está formada por deportistas profesionales y, además, la exigencia competitiva propia de estos deportes no está presente. Por otro lado, un descenso en la flexibilidad del cuádriceps y del psoas ilíaco se ha identificado como factor de riesgo para la lesión de la musculatura isquiotibial⁵⁵, por lo que este aspecto debe tenerse presente en las estrategias preventivas que incluyan programas de flexibilidad. Sin embargo, debemos tener presente que el efecto del estiramiento del cuádriceps y/o los flexores de cadera sobre la incidencia de lesiones en los isquiotibiales no ha sido investigado hasta la fecha.

En la mayoría de los casos también se plantean programas de fortalecimiento muscular, siendo sus resultados igualmente muy variables⁴⁷. Así, distintos programas de fortalecimiento excéntrico han demostrado su eficacia al reducir la incidencia de lesiones isquiotibiales^{5,29,36,74}. En este sentido, en una investigación reciente, Croisier et al.²⁹ observaron, tras una evaluación isocinética con un desequilibrio de fuerza ($\geq 20\%$ en un déficit bilateral) entre el ratio excéntrico de los isquiotibiales ($30^\circ/s$) y concéntrico en los cuádriceps ($240^\circ/s$), un aumento del riesgo de lesión cuatro veces superior en comparación con el grupo que presentó unos ratios normales. Según este grupo de autores, la insuficiente capacidad excéntrica de los isquiotibiales para compensar la acción concéntrica del cuádriceps durante la fase final del "balanceo" en la carrera supone un mayor riesgo de lesión⁷⁷. Bajo este punto de vista, Askling et al.⁵ analizaron el efecto de un programa de entrenamiento excéntrico con un dispositivo isoercial que aplicaba una sobrecarga excéntrica para los isquiotibiales (YO-YO leg curl). El programa se llevó a cabo en la pretemporada durante 10 semanas en 15 jugadores profesionales de fútbol. El grupo experimental realizó un total de 16 sesiones de entrenamiento de fuerza, cada cinco días durante las primeras cuatro semanas y cada cuatro días durante las últimas seis semanas. La incidencia de lesiones en el grupo que se sometió al entrenamiento fue significativamente menor (3/15) en comparación con el grupo control (10/15) durante los diez meses que duró el estudio. Además, los sujetos del grupo experimental reflejaron un incremento estadísticamente significativo de la fuerza y la velocidad, observándose, además, diferencias estadísticamente significativas en los ratios ISQ/Q entre ambos grupos.

Recientemente, Gabbe et al.²⁸ llevaron a cabo un programa preventivo de doce semanas de duración aplicando una sobrecarga excéntrica. Un total de 220 jugadores profesionales de fútbol australiano fueron aleatorizados en dos grupos, uno que realizó el ejercicio conocido como "nórdico" y otro que realizó estiramiento (control), no observándose diferencias estadísticamente significativas en la tasa de lesiones, aunque tales diferencias fueron importantes (4,0% de lesiones en el grupo experimental y 13,2% en el grupo control). No obstante, debemos tener presente que el número de sesiones fue relativamente corto, con un total de 5 sesiones en esas 12 semanas, lo cual puede ser un factor determinante en lo relativo a los resultados obtenidos.

En la misma línea de trabajo, Arnason et al.³⁶ compararon dos programas de entrenamiento orientados a la prevención de la lesión de isquiotibiales en futbolistas profesionales. Un grupo realizó el ejercicio excéntrico llamado "nórdico" y el otro un programa orientado a la mejora de la flexibilidad isquiotibial. Durante las tres temporadas que duró el estudio registraron un total de 183 lesiones. El programa excéntrico se llevó a cabo tres veces a la semana durante la pretemporada y dos veces a la

semana en el periodo de temporada. Los resultados mostraron una tasa de lesiones significativamente menor en aquellos equipos que realizaron el programa excéntrico ($p < 0,01$). Además, el grupo que realizó el programa de estiramiento únicamente no redujo su riesgo de lesión.

Por otro lado, dentro de las estrategias preventivas también encontramos estudios que consideran más adecuado combinar diferentes métodos de intervención para que el programa sea más efectivo. En este sentido, en un estudio con jugadores de rugby, Brooks et al.⁷⁴ encontraron que el grupo de intervención que combinó el entrenamiento con estiramiento, fortalecimiento concéntrico y ejercicio "nórdico" descendió de forma significativa la incidencia de lesiones de isquiotibiales a 0,39/1000 h de juego comparado con el grupo que sólo realizó entrenamiento de fuerza (1,1/1000 h de juego) y el grupo que combinó fortalecimiento concéntrico y estiramiento (0,59/1000 h de juego). La puesta en práctica de un programa que consistía en un entrenamiento anaeróbico intermitente, habilidades técnicas específicas y estiramiento aplicado sobre el músculo fatigado en jugadores de fútbol australiano durante todas las sesiones de entrenamiento (2 - 3 veces por semana) de dos temporadas, redujo de forma significativa las lesiones de isquiotibiales durante los partidos (3,4 lesiones/1000 h de juego), aunque no de forma significativa durante los entrenamientos⁷⁶.

Otros estudios han optado por utilizar el entrenamiento isocinético como medida preventiva. Así, Croisier et al.²⁹ aplicaron en futbolistas

profesionales un programa de intervención orientado a corregir los imbalances en el ratio ISQ/Q. La normalización de este ratio redujo el riesgo de lesión a los mismos niveles que el grupo que presentaba unos valores normales al inicio del estudio. Igualmente, un entrenamiento isocinético supuso un menor número de lesiones de isquiotibiales en jugadores de fútbol americano (7,7 en control frente a 1,1 en experimental; $p < 0,05$); sin embargo este programa combinó con estiramientos, carreras y un entrenamiento con pesas, por lo que sus efectos de forma aislada no están claros⁷⁷.

Por su parte, Kraemer y Knobloch⁷⁸ plantearon como hipótesis de su estudio que una intervención específica basada en un entrenamiento propioceptivo y coordinativo reduciría la tasa de lesiones de la musculatura isquiotibial. En este sentido, 24 jugadoras profesionales de fútbol participaron en el estudio, evaluándose el número de lesiones de forma prospectiva durante tres temporadas. La primera mitad de la temporada uno se definió como el periodo de control sin intervención específica. A partir de este momento se comenzó con el entrenamiento, el cual se combinó con su entrenamiento habitual. Se plantearon múltiples postas con un total de 12 ejercicios, con una duración de 15 a 30 s, alternando apoyo unipodal y bipodal y progresando siempre en dificultad. Al finalizar el programa el ratio de lesiones de isquiotibiales se había reducido de forma estadísticamente significativa de 22,4 a 8,2 lesiones/1000 h de práctica ($p < 0,05$).

Tabla 1
Estudios relacionados con las estrategias de prevención de lesiones para la musculatura isquiotibial

Autores	Tipo de estudio y muestra	Procedimiento	Resultados
Hartig y Henderson ⁷⁵	<ul style="list-style-type: none"> Estudio controlado Deportistas militares (CON, n = 148; EXP, n = 150) 	<ul style="list-style-type: none"> Estiramiento en apoyo unipodal con pierna mantenida por el terapeuta y brazos hacia delante EXP: 5 × 30 s cada pierna; 3 veces/día 	<ul style="list-style-type: none"> ↑ flexibilidad en EXP ($p < 0,05$) ↓ nº lesiones en EXP ($p < 0,05$)
Askling et al. ⁵	<ul style="list-style-type: none"> Estudio controlado aleatorizado Jugadores profesionales de fútbol (CON, n = 15; EXP, n = 15) 	<ul style="list-style-type: none"> Entrenamiento CONC-EXC (YO-YO leg curl) EXP: 4 × 8 rep (1 min descanso); 1 - 2 veces/semana; 10 semanas 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ nº de lesiones en EXP ($p < 0,05$) ↑ fuerza y velocidad en EXP ($p < 0,05$)
Verral et al. ⁷⁶	<ul style="list-style-type: none"> Estudio prospectivo Jugadores de fútbol australiano (n = 70) 	<ul style="list-style-type: none"> Entrenamiento interválico anaeróbico, estiramiento en fatiga y habilidades técnicas con cambio de ritmo 2 años de duración 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ nº de lesiones ($p < 0,05$) ↓ nº de partidos sin jugar ($p < 0,01$) ↓ nº de lesiones/1000 h de práctica en partidos ($p < 0,01$) Sin diferencias en el nº de lesiones entre grupos
Gabbe et al. ²⁸	<ul style="list-style-type: none"> Estudio controlado aleatorizado Jugadores de fútbol australiano (CON, n = 106; EXP, n = 114) 	<ul style="list-style-type: none"> EXP: entrenamiento EXC. CON: entrenamiento flexibilidad 5 sesiones/12 semanas 	<ul style="list-style-type: none"> Sin diferencias en el nº de lesiones entre grupos
Brooks et al. ³³	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de cohorte. Jugadores profesionales de rugby (n = 296). 	<ul style="list-style-type: none"> EXP1: entrenamiento CONC-EXC. EXP2: entrenamiento CONC-EXC + flexibilidad. EXP3: entrenamiento CONC-EXC + flexibilidad + ejercicio "Nórdico". 2 años de duración 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ incidencia y severidad lesiones en EXP3 en comparación con EXP1 y EXP2 ($p < 0,05$)
Arnason et al. ³⁶	<ul style="list-style-type: none"> Estudio prospectivo Jugadores profesionales de fútbol (17 a 24 jugadores de 20 equipos) 	<ul style="list-style-type: none"> EXP1: estiramiento contracción-relajación; 3 veces/semana EXP2: ejercicio "Nórdico"; 3 × 12-10 - 8 rep; 3 veces/semana EXP3: estiramiento + "Nórdico" 2 años de duración 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ incidencia en EXP2 y EXP3 en relación a EXP1 ($p < 0,01$)
Croisier et al. ²⁹	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de cohorte Jugadores profesionales de fútbol (n = 687) 	<ul style="list-style-type: none"> CON1: sujetos sin imbalance CON2: sujetos con imbalance sin intervención EXP1: sujetos con imbalance y entrenamiento isocinético sin test final EXP2: sujetos con imbalance y entrenamiento isocinético con test final de normalización 	<ul style="list-style-type: none"> ↑ ratio de lesiones en CON2 ($p < 0,05$) ↑ riesgo de lesiones en EXP1 en relación a CON1 ($p < 0,05$) Riesgo de lesiones similar en EXP2 y CON1
Kraemer y Knobloch ⁷⁸	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de cohorte Jugadoras de fútbol profesionales (n=24) 	<ul style="list-style-type: none"> Entrenamiento propioceptivo y coordinativo específico para fútbol 12 ejercicios × 30 s 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ del ratio de lesiones entre la primera y tercera temporada ($p < 0,05$)

CON: grupo control; EXP: grupo experimental; ↑: incremento; ↓: disminución; CONC: concéntrico; EXC: excéntrico.

Por último, debido a la importancia que se ha demostrado que tienen los ejercicios de control neuromuscular dirigidos a los miembros inferiores y a la región lumbo-pélvica en la recuperación de lesiones de los isquiotibiales²⁷, también se ha propuesto la inclusión de estos ejercicios en los programas de prevención^{39,76}. De esta manera, un programa preventivo que hizo hincapié en diversos movimientos del tronco durante la marcha (por ejemplo postura del tronco, flexión de tronco, flexión de tronco más rotación) redujo la incidencia de lesiones isquiotibiales en un 70% tras un periodo de entrenamiento de dos años⁷⁶. La tabla 1 muestra un resumen de los datos más relevantes de los principales estudios presentados en relación a la prevención de lesiones de la musculatura isquiotibial.

Conclusiones

La rotura de la musculatura isquiotibial es, desde hace tiempo, una de las lesiones que más problemas ha planteado en aquellos deportes que implican acciones explosivas y carrera a máxima velocidad, debido fundamentalmente a su alta incidencia, así como a la importante tasa de recurrencia que suele existir. En base a los estudios analizados, debemos recalcar la importancia de plantear estrategias para la prevención que tengan presente la naturaleza multifacética de esta lesión, haciendo hincapié en el análisis y corrección de los déficits de fuerza agonista/antagonista y de las alteraciones de la musculatura adyacente e influyente sobre la pelvis fundamentalmente. En este sentido, la investigación futura debería centrarse en terminar de identificar claramente cuáles son los factores de riesgo más relevantes y qué medidas preventivas son las idóneas para limitar la aparición de la lesión, ya que esto permitirá una mejor gestión de la misma. Igualmente, estudios futuros con un carácter prospectivo y ensayos controlados aleatorizados que incluyan un número suficiente de participantes, son esenciales para terminar de conocer los aspectos significativos de esta lesión. Por último, desde nuestro punto de vista, los clubes deportivos profesionales deberían plantearse la necesidad de crear una línea base de múltiples medidas con cada jugador, para conseguir un enfoque adecuado de prevención de dicha lesión.

Bibliografía

- Price RJ, Hawkins RD, Hulse MA, Hodson A. The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. *Br J Sports Med.* 2004;38:466-71.
- Marshall SW, Hamstra-Wright KL, Dick R, Grove KA, Agel J. Descriptive epidemiology of collegiate women's softball injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *J Athl Train.* 2007;42:286-94.
- Shankar PR, Fields SK, Collins CL, Dick RW, Comstock RD. Epidemiology of high school and collegiate football injuries in the United States, 2005-2006. *Am J Sports Med.* 2007;35:1295-303.
- Drezner JA. Practical management: hamstring muscle injuries. *Clin J Sport Med.* 2003;13:48-52.
- Asking C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports.* 2003;13:244-250.
- Cameron M, Adams R, Maher C. Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Physical Therapy in Sport.* 2003;4:159-66.
- Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med.* 2001;35:43-7.
- Feeley BT, Kennelly S, Barnes RP, Muller MS, Kelly BT, Rodeo SA, et al. Epidemiology of National Football League training camp injuries from 1998 to 2007. *Am J Sports Med.* 2008;36:1597-603.
- Croisier J. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med.* 2004;34:681-95.
- Petersen J, Holmich P. Evidence-based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med.* 2005;39:319-323.
- Gabbe BJ, Bennell KL, Finch CF. Why are older Australian football players at greater risk of hamstring injury? *J Sci Med Sport.* 2006; 9:327-33.
- Mason DL, Dickens V, Vail A. Rehabilitation for hamstring injuries. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007;24:CD004575.
- Orchard J, Seward H. AFL injury report 2003. *J Sci Med Sport.* 2004;7:264-5.
- Tortora GJ, Grabowski SR. Principles of anatomy and physiology (10th ed.). New York: Wiley; 2003.
- Koulouris G, Connell D. Evaluation of the hamstring muscle complex following acute injury. *Skeletal Radiol.* 2003;32:582-9.
- Garrett W, Califf J, Bassett F. Histochemical correlates of hamstring injuries. *Am J Sports Med.* 1984;12:98-103.
- Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG, Fon G, Spriggins A. Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med.* 2001;35:435-9.
- Thelen DG, Chumanov ES, Best TM, Swanson SC, Heiderscheid BC. Simulation of biceps femoris musculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:1931-8.
- Chumanov ES, Heiderscheid BC, Thelen DG. The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *J Biomech.* 2007;40:3555-62.
- Yu B, Queen RM, Abbey AN, Liu Y, Moorman CT, Garrett WE. Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *J Biomech.* 2008;41:3121-6.
- Devlin L. Recurrent posterior thigh symptoms detrimental to performance in rugby union: Predisposing factors. *Sports Med.* 2000;29:273-87.
- Asking CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *Am J Sports Med.* 2007;35:1716-24.
- Asking C, Saartok T, Thorstensson A. Type of acute hamstring strain affects flexibility, strength, and time to return to pre-injury level. *Br J Sports Med.* 2006;40:40-4.
- Asking CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Proximal hamstring strains of stretching type in different sports: injury situations, clinical and magnetic resonance imaging characteristics, and return to sport. *Am J Sports Med.* 2008;36:1799-804.
- Hoskins W, Pollard H. The management of hamstring injury-Part 1: Issues in diagnosis. *Manual Therapy.* 2005;10:96-107.
- Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Brughelli M. Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? *Br J Sports Med.* 2012;46:81-5.
- Sherry MA, Best TM. A comparison of 2 rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2004; 34(3):116-25.
- Gabbe BJ, Branson R, Bennell KL. A pilot randomised controlled trial of eccentric exercise to prevent hamstring injuries in community-level Australian football. *J Sci Med Sport.* 2006b;9:103-9.
- Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players. *Am J Sports Med.* 2008;36:1469-75.
- Bennell K, Tully E, Harvey N. Does the toe-touch test predict hamstring injury in Australian Rules footballers? *Aust J Physiother.* 1999;45:103-9.
- Orchard JW. Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in Australian football. *Am J Sports Med.* 2001;29:300-3.
- Foreman TK, Addy T, Baker S, Burns J, Hill N, Madden T. Prospective studies into the causation of hamstring injuries in sport: a systematic review. *Physical Therapy in Sport.* 2006;7:101-9.
- Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med.* 2006;34:1297-306.
- Worrell TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;20:154-9.
- Clark RA. Hamstring injuries: risk assessment and injury prevention. *Ann Acad Med Singapore.* 2008;37:341-6.
- Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18:40-8.
- Yeung SS, Suen AM, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med.* 2009;43:589-94.
- Murphy DF, Connolly DAJ, Beynon BD. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med.* 2003;37:13-29.
- Cameron ML, Adams RD, Maher CG, Misson D. Effect of the HamSprint Drills training programme on lower limb neuromuscular control in Australian football players. *J Sci Med Sport.* 2007;12:24-30.
- Bennell K, Wajswelner H, Lew P, Schall-Riaucour A, Leslie S, Plant D, et al. Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br J Sports Med.* 1998;32:309-14.
- Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Risk factors for injuries in football. *Am J Sports Med.* 2004;32:5S-16S.

42. Hagglund M, Walden M, Ekstrand J. Previous injury as a risk factor for injury in elite football: a prospective study over 2 consecutive seasons. *Br J Sports Med.* 2006;40:767-72.
43. Koulouris G, Connell DA. Hamstring muscle complex: an imaging review. *Radiographics.* 2005;25:571-86.
44. Woods C, Hawkins R, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football— analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 2004;38:36-41.
45. Wallden M, Walters N. Does lumbo-pelvic dysfunction predispose to hamstring strain in professional soccer players? *J Bodyw Mov Ther.* 2005; 9:99-109.
46. Copland ST, Tipton JS, Fields KB. Evidence-based treatment of hamstring tears. *Curr Sports Med Rep.* 2009;8:30-314.
47. Prior M, Guerin M, Grimmer K. An Evidence-Based Approach to Hamstring Strain Injury: A Systematic Review of the Literature. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach.* 2009;1:154-64.
48. Burkett LN. Causative factors in hamstring strains. *Med Sci in Sports and Exerc.* 1970;2:39-42.
49. Agre J. Hamstring injuries: proposed aetiological factors, prevention and treatment. *Sports Med.* 1985;2:21-33.
50. Yamamoto T. Relationship between hamstring strains and leg muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness.* 1993;33:194-9.
51. Orchard JW, Marsden J, Lord S, Garlick D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med.* 1997;25:81-5.
52. Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998;26:231-7.
53. Dauty M, Potiron-Josse M, Rochcongar P. Consequences and prediction of hamstring muscle injury with concentric and eccentric isokinetic parameters in elite soccer players. *Annales de Readaptation et de Medecine Physique.* 2003;46:601-6.
54. Witvrouw E, Danneels L, Asselman P, D'Have T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2003;31:41-6.
55. Gabbe BJ, Finch CF, Bennell KL, Wajswelner H. Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football. *Br J Sports Med.* 2005; 39:106-10.
56. Gabbe BJ, Bennell KL, Finch CF, Wajswelner H, Orchard JW. 2 Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scand J Med Sci Sports.* 2006c;16:7-13.
57. Wong R, Davies N, Marshall D, Allen P, Zhu G, Lopaschuk G, et al. Metabolism of normal skeletal muscle during dynamic exercise to clinical fatigue: in vivo assessment by nuclear magnetic resonance spectroscopy. *The Canadian Journal of Cardiology.* 1990;6(9):395-7.
58. Febbraio MA, Dancy J. Skeletal muscle energy metabolism during prolonged, fatiguing exercise. *J Appl Physiol.* 1999;87:2341-7.
59. Nummela A, Rusko H, Mero A. EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Med Sci in Sports and Exerc.* 1994;26(5):605-9.
60. Davis JM, Bailey SP. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci in Sports and Exerc.* 1997;29:45-57.
61. Pinniger GJ, Steele JR, Groeller H. Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? *Med Sci in Sports and Exerc.* 2000;32:647-53.
62. Mair SD, Seaber AV, Glisson RR, Garrett Jr WE. The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am J Sports Med.* 1996;24:137-43.
63. Miura K, Ishibashi Y, Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H, Toh S. The effect of local and general fatigue on knee proprioception. *Arthroscopy.* 2004;20: 414-8.
64. Taimela S, Kankaanpaa M, Luoto S. The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine.* 1999;24:1322-7.
65. Dadebo B, White J, George KP. A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med.* 2004;38:388-94.
66. Hennessey L, Watson AW. Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. *Br J Sports Med.* 1993;27:243-6.
67. Watson AW. Sports injuries in footballers related to defects of posture and body mechanics. *J Sports Med Phys Fitness.* 1995;35:289-94.
68. Watson AW. Sports injuries related to flexibility, posture, acceleration, clinical defects, and previous injury, in high-level players of body contact sports. *International J Sports Med.* 2001;22:222-5.
69. Janda V. Evaluation of muscular imbalance. En: Liebensohn C, editor. *Rehabilitation of the spine.* Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 1996. p. 97-112
70. Leibenson C. Self-treatment of mid-thoracic dysfunction: a key link the body axis. Part 1: Overview and assessment. *J Bodyw Mov Ther.* 2001;5: 90-8.
71. Garrett WE. Muscle strain injuries: clinical and basic aspects. *Med Sci in Sports and Exerc.* 1990;22:436-43.
72. Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG, Fon GT. Diagnostic and prognostic value of clinical findings in 83 athletes with posterior thigh injury: comparison of clinical findings with magnetic resonance imaging documentation of hamstring muscle strain. *Am J Sports Med.* 2003;31:969-73.
73. Noonan TJ, Best TM, Seaber AV, Garrett Jr WE. Thermal effects on skeletal muscle tensile behavior. *Am J Sports Med.* 1993;21:517-22.
74. Brooks JHM, Fuller CW, Kemp SPT, Reddin DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am J Sports Med.* 2006;34:1297-306.
75. Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse in military basic trainees. *Am J Sports Med.* 1999;27:173-6.
76. Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG. The effects of sports-specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian Rules football players. *Br J Sports Med.* 2005;39:363-8.
77. Heiser TM, Weber J, Sullivan G, Clare P, Jacobs RR. Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med.* 1984;12:368-70.
78. Kraemer R, Knobloch K. Soccer-Specific Balance Training Program for Hamstring Muscle and Patellar and Achilles Tendon Injuries. *Am J Sports Med.* 2009;37:1384-93.