

**\*TRADUCCIÓN de Revisión Crítica**

## La eficacia de diferentes protocolos de ejercicios para prevenir la incidencia de lesión isquiotibial en atletas.

Fernando, Naclerio<sup>1</sup>, y Mark, Goss-Sampson<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Principal Lecturer in Strength and Conditioning and Sports Nutrition. Department: Life & Sports Sciences. University of Greenwich. London, England. Email: [f.j.naclerio@gre.ac.uk](mailto:f.j.naclerio@gre.ac.uk)

<sup>2</sup>Principal Lecturer, Sports Sciences, Department: Life & Sports Sciences. University of Greenwich. London, England.

**RESUMEN**

*Introducción:* La distensión de los músculos isquiotibiales es la lesión, sin contacto, más frecuente asociada a la participación deportiva.

Además de las características anatómicas y funcionales de los isquiotibiales, tales como la organización biarticular, o la bi-inervación de bíceps femoral; un número de factores modificables y no modificables, se han asociado con el riesgo de lesiones de los músculos isquiotibiales en atletas. Cada una de estas variables podría tener un impacto sobre el riesgo de lesión en un enfoque integral; por lo cual la posibilidad de sufrir una lesión puede variar dependiendo de las circunstancias particulares de cada atleta.

El objetivo de esta revisión crítica, es examinar los efectos de los actuales protocolos de ejercicios preventivos y proporcionar directrices básicas para la prevención de lesiones de los isquiotibiales en los atletas.

*Discusión:* Las lesiones de los isquiotibiales se producen durante las acciones de alta velocidad, o de estiramiento extremo; por lo tanto, con el fin de prevenir la incidencia de este tipo de lesiones, el estiramiento activo específico, los ejercicios de estiramiento, o ejercicios específicos del deporte, se han integrado en los programas regulares de entrenamiento. La respuesta a estos programas de intervención ha mostrado resultados mixtos.

Se presenta un marco conceptual, proponiendo que un programa eficaz de prevención de lesiones debe incluir una combinación de diferentes ejercicios específicos y no específicos. Además, debe tenerse una consideración especial sobre los ejercicios excéntricos realizados sobre los músculos estirados, y también hacer hincapié en las acciones de co-contracción de los isquiotibiales, en la estabilidad de la rodilla.

*Conclusión:* Los efectos protectores provocados por un programa de prevención bien diseñado, podrían ser obtenidos en cuatro semanas, con sólo dos sesiones semanales, incluyendo tres series de seis a ocho repeticiones, con tres ejercicios de cadena cinética abierta y cerrada.

Las investigaciones futuras deberían analizar las modificaciones estructurales y funcionales específicas, provocadas por la aplicación regular de los diferentes tipos de ejercicios y protocolos, destinados a reducir el riesgo de lesión en los músculos isquiotibiales.

**INTRODUCCIÓN**

*\*Traducción del trabajo publicado originalmente en lengua inglesa:*

Naclerio F, Goss-Sampson M. The effectiveness of different exercises protocols to prevent the incidence of hamstring injury in athletes. *OA Sports Medicine* 2013 Jul 01;1(2):11.

Los daños en la musculatura isquiotibial, (desde una ligera distensión, hasta la ruptura o desgarro), hoy en día es la lesión sin contacto, más frecuente en muchos deportes de conjunto<sup>1</sup>. Este tipo de lesión ha sido relacionada con cualquier daño físico, localizado en la región posterior del muslo; independientemente de que requiera de atención médica o suspensión del entrenamiento o competición<sup>2</sup>. En los deportes de equipo, como el rugby, el fútbol y el cricket, la incidencia de las lesiones de la musculatura isquiotibial, ha mostrado una tendencia a incrementarse en las últimas dos décadas, representando en la actualidad entre el 12%-17% de las lesiones totales, con una de las más altas tasas de reincidencia<sup>1,3</sup>.

En los últimos años, muchas estrategias de entrenamiento que incluyen la aplicación de ejercicios excéntricos<sup>4,5</sup>, ejercicios estáticos y dinámicos<sup>6</sup>, o ejercicios con equilibrio perturbado<sup>7</sup>; han sido propuestos como métodos de entrenamiento eficaces para la prevención o rehabilitación de este tipo de lesiones.

Sin embargo, todavía hay algunas inconsistencias en relación con el tipo de programas de entrenamiento y sus efectos posteriores. La falta de uniformidad de criterios, en la implementación de los programas de prevención de lesiones, podría también estar asociada con creencias empíricas o infundadas, sobre el bajo nivel de adhesión, el tiempo requerido, y la percepción de efectos negativos tales como la hipertrofia excesiva, la pérdida de velocidad y potencia en los deportistas<sup>8,9</sup>. En esta revisión crítica, después de analizar las funciones motoras de los músculos isquiotibiales y sus mecanismos de lesión, analizaremos los efectos de los diferentes ejercicios utilizados para prevenir la incidencia de lesiones en este grupo muscular. Para finalizar se propondrán algunas recomendaciones prácticas para poder integrar un programa de prevención de lesiones en la preparación anual como parte de una planificación periodizada del entrenamiento del deportista.

## **DISCUSIÓN**

En esta revisión crítica, los autores han citado, algunos de sus propios estudios. Estos, se hicieron en conformidad con la Declaración de Helsinki (1964), y los protocolos fueron aprobados por los comités de ética asociados a la institución en la que se realizaron. Todos los participantes, en los estudios citados, dieron su consentimiento informado para participar en los mismos.

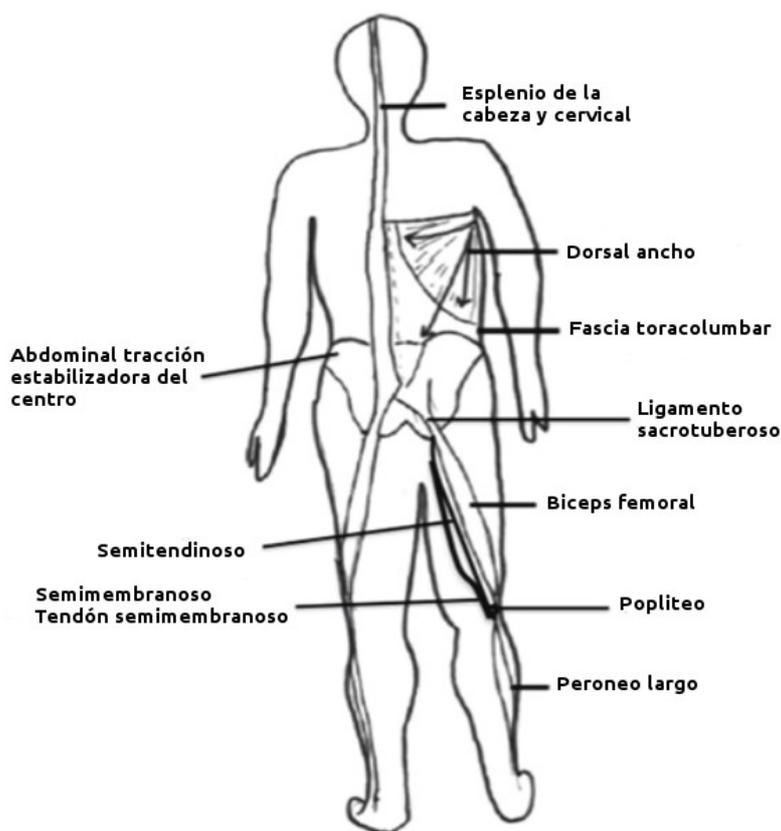
### **Acción funcional de los isquiotibiales.**

La naturaleza biarticular de los isquiotibiales, les permite actuar durante la contracción concéntrica, como extensores de la cadera y flexores de la rodilla; pero también, en la contracción excéntrica, en la flexión de la cadera y extensión de la rodilla, tal como se observa en un “pique”, o carrera de velocidad y al patear<sup>1</sup>.

La demanda de la musculatura isquiotibial en cuanto a fuerza, velocidad y potencia, está limitada durante los movimientos submáximos, o de baja velocidad; en comparación con los niveles significativamente mayores, que se producen en la pierna de ataque en la fase final del vuelo en una carrera de velocidad, o durante una patada explosiva<sup>10</sup>. Cuando se superan los límites mecánicos del músculo en forma excéntrica puede ocurrir una distensión, o un daño muscular microscópico.

Los isquiotibiales considerados dentro de una cadena cinética funcional, están asociados a la alineación y estabilización de la parte superior del cuerpo (pelvis, columna vertebral, hombro y cabeza), y la inferior (muslos y piernas)<sup>12</sup> (Figura 1). Estos enlaces anatómicos pueden ser la razón por la que, la falta de estabilidad de la espalda y/o de la pelvis, se ha propuesto como uno de los principales contribuyentes al aumento del riesgo de lesión en los isquiotibiales<sup>12</sup>.

Además, las dos porciones del bíceps femoral están inervadas por diferentes ramas del nervio ciático. La rama tibial inerva la porción larga, mientras que la peronea común, la porción corta. Esta doble inervación podría ser la causa de una contracción descoordinada, y consecuentemente a una falta de control motor, que conduzcan a un aumento de las lesiones que se presentan durante el ejercicio cuando aparece la fatiga<sup>1</sup>.



**Figura 1.** Cadena cinética funcional de los isquiotibiales; conexión de la parte superior del torso y el cráneo, así como la rodilla, el tobillo y el pie<sup>12</sup>.

### Mecanismo y localización de lesión durante el estiramiento.

La distensión de los isquiotibiales se produce a través de un episodio de estiramiento agudo, pudiéndose hablar de un “continuo” de daños microfibrilares, como ocurre cuando aparece el dolor muscular de aparición tardía, que puede provocar ya sea una distensión parcial, o una ruptura muscular completa<sup>12</sup>.

Esta lesión está fuertemente asociada con una alta tensión muscular excéntrica, superior a los límites mecánicos de los tejidos<sup>1</sup>. Basados en los mecanismos de lesión y localización, podemos diferenciar dos tipos de lesiones; de la siguiente manera:

1. Lesiones a las fibras musculares, principalmente en la porción larga del bíceps femoral, y menos frecuente, en el músculo semitendinoso distal; resultante de acciones explosivas de alta velocidad, tales como patadas o carreras de velocidad<sup>13</sup>.
2. Lesiones de los tendones, en particular, del tendón proximal del semimembranoso; que se producen cuando se realiza un estiramiento lento controlado hacia a una posición extrema<sup>13,14</sup>.

Potencialmente, existe una interrelación entre la fuerza excéntrica y la deformación muscular; que determina si un músculo se lesiona. Por ejemplo, el riesgo de lesión por esfuerzo, se reduciría de manera significativa al realizar ejercicios de estiramiento submáximos que impliquen niveles de moderados a altos de tensión y baja fuerza excéntrica. También se reduce si el gesto en la fase excéntrica es correctamente controlado aún con cargas pesadas, como cuando se realizan los ejercicios típicos de fuerza, como el press de banca o las sentadillas<sup>1</sup>. Pero se incrementa el riesgo de lesiones, cuando los deportistas están expuestos regularmente a las actividades que producen simultáneamente alta tensión y fuerzas excéntricas y no cuentan con una preparación adecuada.

### **Potenciales factores de riesgo asociados con la lesión de los isquiotibiales en deportistas.**

La lesión en los isquiotibiales es un fenómeno complejo y multifactorial, eventualmente sufrida por la interacción de los siguientes tipos<sup>1</sup>:

1. Modificables: la fatiga; el déficit de fuerza; el desequilibrio muscular; el ángulo de torque máximo; la escasa flexibilidad; o una técnica (o control motor) deficiente.
2. No modificables: la edad, la etnia, las relaciones antropométricas, la composición de la fibra muscular y las lesiones anteriores.

Con el fin de comprender mejor la secuencia de eventos que conducen a una lesión, los efectos causales de los factores modificables y no modificables, deben considerarse dentro de un enfoque integral. Por ejemplo, la combinación de la edad con la falta de fuerza, aumentará dramáticamente el riesgo de lesiones en algunos deportistas<sup>9</sup>. Así, bajo ciertas circunstancias, como ser un atleta mayor o previamente lesionado, los efectos de algunos factores de riesgo modificables como un déficit de fuerza, o un pobre control del motor, aumentarán la posibilidad de lesiones en comparación con un deportista más joven o sin lesiones previas.

Un exitoso programa de prevención de lesiones de los isquiotibiales debería reducir la influencia negativa de los factores de riesgo modificables. Sin embargo, según lo declarado por Opar y col.<sup>1</sup>, un factor de riesgo no puede ser considerado causal, a menos que, después de una intervención, haya una reducción en la tasa de lesión.

En las siguientes secciones discutiremos los efectos de los ejercicios y protocolos más usados para reducir las lesiones de los músculos isquiotibiales en el deporte.

### **Ejercicios de estiramiento pasivos.**

Aunque se ha informado de que no hay relación entre el estiramiento pasivo y el riesgo de distensión del

isquiotibial<sup>13</sup>, reportes recientes han sugerido efectos positivos para la reducción de las distensiones musculares con protocolos de estiramiento de varias repeticiones de más de 30 segundos (4 minutos en total)<sup>6</sup>.

En sujetos con una flexibilidad limitada, parece que los efectos protectores del estiramiento incluyen un cambio en el ángulo articular, en el se produce el torque máximo, produciéndose en una posición más abierta<sup>6</sup>. Sin embargo, se debe tener cuidado al realizar ejercicios de estiramiento como parte del la entrada en calor, durante, y después del entrenamiento, debido a que un alto volumen de estiramientos intensos de los isquiotibiales puede provocar una lesión<sup>14</sup>; y el riesgo parece aumentar cuando se realizan después del ejercicio, cuando un complejo músculo-tendón fatigado, puede estar más susceptible a daños por un estiramiento<sup>13</sup>.

### **Ejercicios de estiramiento activo.**

Cuando los músculos se estiran y al mismo tiempo que generan tensión, tiene lugar un estiramiento activo. Los estudios sugieren<sup>11,15</sup> que la longitud óptima del músculo a la que se registra el pico de tensión, sería el mejor indicador para la identificación de los deportistas en riesgo de distensión de los isquiotibiales. Por lo tanto, cuanto más abierto es el ángulo en el que se alcanza el torque máximo, menor riesgo de lesión tendrá el músculo<sup>15</sup>.

Las adaptaciones funcionales y estructurales provocadas por ejercicios excéntricos dependen de la magnitud de la resistencia, la velocidad de movimiento y la amplitud, es decir, la magnitud del estiramiento del músculo alcanzada durante el ejercicio<sup>16</sup>.

Tanto en acciones excéntricas y concéntricas, como la magnitud de la resistencia aumenta el tono, la velocidad disminuye. Por lo tanto, durante la acción muscular excéntrica, cuando se utilizan cargas ligeras a moderadas (<80% 1RM), las fibras musculares se pueden estirar progresivamente. Este es el caso de algunos movimientos de estiramiento activos, tales como patadas o en la fase final del vuelo en la carrera, donde las fibras de la porción larga del bíceps femoral serían extendidas cerca del 110% de su longitud original<sup>1</sup>.

Sin embargo, cuando se utilizan resistencias pesadas (>80% 1RM) durante una acción excéntrica, las fibras musculares se contraen a lo largo de una acción cuasi-isométrica que se compensa con una mayor elongación de los componentes elásticos (tendones y proteínas elásticas del sarcómero). Por lo tanto, como el movimiento avanza, y la unidad músculo-tendón continúa estirándose más allá de su longitud óptima, los niveles de tensión disminuyen<sup>17</sup>. Así, si tenemos en cuenta que el torque máximo se produce siempre en la misma longitud de la fibra<sup>17</sup>, con resistencias livianas, este torque se producirá en la posición más abierta; y a la inversa, con resistencias altas, que se localizará en una posición más cerrada.

Con respecto a la amplitud de movimiento, se ha demostrado que los efectos protectores de los ejercicios excéntricos se producen sólo en el rango de movimiento entrenado, pero no a amplitudes mayores<sup>18</sup>. De este modo, si los ejercicios excéntricos se realizan sobre rangos cortos, más pequeños que aquellos en los que la

lesión se produce comúnmente (por ejemplo, los últimos 30° de la fase final de un movimiento), el torque máximo se mueve hacia un ángulo de la rodilla más cerrado, y esto en lugar de tener un efecto protector, podría estar aumentando el riesgo de distensión del isquiotibial. Por esto, con el fin de obtener los mayores beneficios, los ejercicios excéntricos deben realizarse a lo largo del mayor rango posible de movimiento.

Diferentes ejercicios excéntricos, como utilizar un volante excéntrico para la flexión de rodillas<sup>19</sup> (máquinas yo-yo), o las flexiones nórdicas<sup>8,20</sup>; en combinación con otros ejercicios de fuerza<sup>21</sup>, o estiramiento<sup>21,22</sup>, se han aplicado con éxito para reducir la incidencia de lesiones de isquiotibiales, mejorando la fuerza excéntrica de los mismo<sup>23</sup> o modificando el torque máximo en deportistas sin lesiones previas<sup>24,26</sup>. Sin embargo, los patrones de carga y los protocolos de entrenamiento adecuados, deben ser específicos.

La flexiones nórdicas han sido recientemente criticadas debido a su falta de especificidad, con respecto a la acción mecánica a donde se producen las lesiones<sup>16</sup>. Este ejercicio, requiere que el deportista esté arrodillado y baje gradualmente su tronco hacia adelante, hasta llegar al suelo; y esta acción representa alrededor del 90% del peso corporal. Lo cual, para muchos atletas mal entrenados, puede ser una sobrecarga excesiva, localizada en los músculos isquiotibiales; especialmente cuando el tronco se acerca al final del movimiento. Como consecuencia de ello, si el atleta es incapaz de controlar el movimiento, va a dejar de aplicar fuerza y caerá hacia adelante.

Esta ejecución no controlada de las flexiones nórdicas, no provocaría adaptaciones positivas para reducir la lesión de los isquiotibiales, porque el rango de movimiento efectivo de entrenamiento, se restringe a ángulos más cerrados (<30° de la extensión de la rodilla), y el estiramiento no se transfiere a la mayor longitud músculo. De hecho, se ha observado que la porción larga del bíceps femoral y el semimembranoso fueron significativamente menos activas que el semitendinoso y el gracil durante la flexión con cargas excéntricas altas<sup>1</sup>. Por lo tanto, con el fin de mantener una activación apropiada en la porción larga del bíceps femoral y semimembranoso, podrían recomendarse otros ejercicios alternativos, como el despegue de peso muerto con rodillas extendidas a una o dos piernas, o la flexión nórdica asistida con bandas. (Figura 2).



*Despegue de peso muerto con rodillas estiradas a una pierna excéntrico.*



*Despegue de peso muerto con rodillas estiradas a dos piernas, excéntrico.*



*Flexiones nórdicas asistidas con banda.*

**Figura 2.** Ejercicios propuestos para la prevención de lesiones de los isquiotibiales en atletas.

### **Ejercicios deportivos específicos y con equilibrio perturbado.**

Un programa eficaz de prevención de lesiones debe considerar la condición específica que refleje con mayor precisión la situación en la que se producen las lesiones. Además, el estiramiento activo observado durante carreras de velocidad o patadas, y la acción de los isquiotibiales como estabilizadores de la rodilla, que contrarresta y equilibra a la de los cuádriceps durante las actividades deportivas específicas, como ocurre en el aterrizaje luego de un salto, en la desaceleración o cambio de dirección.

Por lo tanto, los ejercicios específicos que implican, carreras de velocidad repetidas, saltos, saltos combinados con ejercicios de equilibrio perturbado, tales como sentadillas sobre una pierna o estocadas sobre superficies inestables, han sido propuestos como métodos eficaces para la prevención de lesiones de músculos isquiotibiales<sup>24,27,28</sup>.

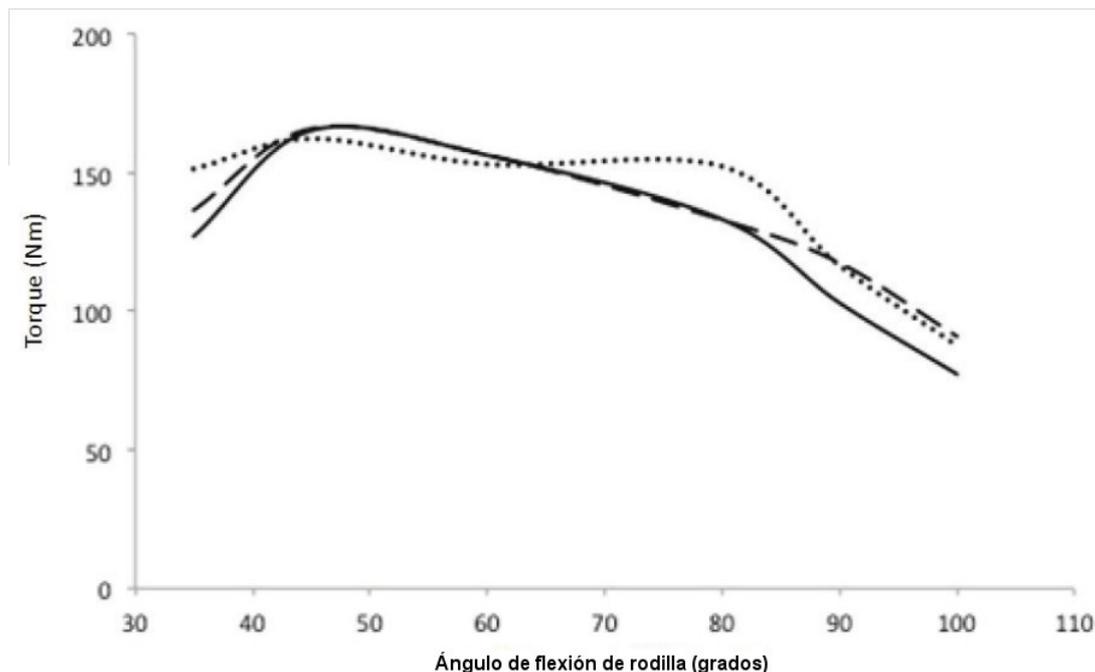
Verral y col.<sup>28</sup> reportaron una reducción significativa de las lesiones de isquiotibiales en jugadores de fútbol australiano después de cuatro años de un programa de entrenamiento intervalado de alta intensidad combinado con estiramientos pasivos isométricos de los isquiotibiales. Con el fin de simular la situación en la que se producen las lesiones, los deportistas fueron instruidos para inclinar el tronco hacia adelante cuando realizaran carreras de velocidad.

Por el contrario, Daneshjoo y col.<sup>27</sup> no observaron efecto alguno en dos programas de prevención de lesiones específicos frecuentemente recomendados para aumentar la fuerza de los isquiotibiales en futbolistas profesionales (FIFA 11+ y HarmoKnee). Más recientemente, Naclerio y col.<sup>24</sup> informaron que cuatro semanas (12 sesiones) de un programa de prevención de lesiones que comprenda tres series de ocho repeticiones de flexión nórdica, estocadas en Bosu®, entrenamiento inestable, y despegue de peso muerto a una pierna excéntrico, fue eficaz en la mejora de la fuerza isométrica máxima, tanto en ángulos de la rodilla, cerrados (80°), como abiertos (35°).

La figura 3, representa los perfiles del ángulo del torque registrado antes (para todos los participantes  $n = 20$ ) y después del programa de entrenamiento; diferenciando el grupo entrenado ( $n = 10$ ), y grupo control ( $n = 10$ ). Antes del entrenamiento, los participantes tendían a producir el torque máximo a 45° de flexión de la rodilla, sin embargo, después de la intervención, en el grupo de entrenados se observó una meseta desde los 35° a los 80°, exhibiendo un torque más consistente, que se sostenido durante una mayor amplitud del ángulo de flexión de la rodilla.

La modificación representada en la figura 3 indica una tendencia a aumentar la capacidad de los músculos isquiotibiales para aplicar niveles más altos de fuerza sobre un rango mayor de movimiento. Lo que indica que posiblemente, los efectos sobre el ángulo de torque de la rodilla podrían ser manipulados por una adecuada selección de ejercicios. Por ejemplo, los beneficios de la realización de flexiones nórdicas dependerían de la amplitud de movimiento logrado durante su ejecución.

Al realizar estocadas, se requiere de una acción cuasi-isométrica del isquiotibial y por lo tanto, lo que provocaría un fortalecimiento en ángulos más cerrados de la rodilla.



**Figura 3.** Perfiles angulares de torque de la rodilla. La línea continua representa el perfil obtenido de todos los participantes antes de la intervención de entrenamiento. Las líneas de puntos y de rayas, representan la respuesta obtenida en el grupo de entrenados y de control, respectivamente, después de la intervención de ejercicios (datos no publicados).

El despegue de peso muerto a una sola pierna implica tanto un estiramiento activo, como una estabilización de la rodilla por medio de la co-contracción de los músculos isquiotibiales; lo que a su vez estimula un desarrollo de la fuerza de estos músculos, en ángulos flexión de rodilla tanto abiertos como cerrados<sup>24</sup>.

Puntos clave para el diseño de un programa de prevención de lesiones en los isquiotibiales.

- Los efectos positivos de un programa de prevención de lesiones de bajo volumen se podrían obtener en un período de cuatro semanas, con sólo dos sesiones semanales, incluyendo tres series de seis a ocho repeticiones con tres ejercicios de cadena cinética abierta y cerrada<sup>24,25</sup>.
- Los ejercicios seleccionados deben incluir acciones musculares excéntricas y cuasi-isométricas de los isquiotibiales<sup>24</sup>.
- Las acciones musculares excéntricas deben realizarse a una velocidad de moderada a alta, con cargas entre ligeras a moderadas, a lo largo del mayor rango posible de movimiento (18).
- El programa de prevención de lesiones debe ser incluido en el final del calentamiento, o de la sesión de entrenamiento.

## CONCLUSIÓN

Con el fin de prevenir las lesiones de isquiotibiales, los programas deben ser diseñados de manera que incluyan tanto la actividad excéntrica, como ejercicios de co-contracción estabilizadora de la rodilla.

No hay un enfoque único que deba considerarse como método de referencia para la prevención de lesiones en los isquiotibiales. Además de la mejora funcional recomendada en esta revisión, los entrenadores también deben considerar la importancia de las correcciones, buscando una técnica deportiva específica y un buen control motor.

## Referencias

1. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. *Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury*. Sports Med. 2012 Mar;42(3):209–26.
2. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, et al. *Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries*. Br J Sports Med. 2006 Mar;40(3):193–201.
3. Orchard J, James T, Kountouris A, Portus M. *Changes to injury profile (and recommended cricket injury definitions) based on the increased frequency of Twenty20 cricket matches*. Open Access Journal of Sports Medicine. 2010 May;(1):63–76.
4. Ono T, Higashihara A, Fukubayashi T. *Hamstring functions during hip-extension exercise assessed with electromyography and magnetic resonance imaging*. Res Sports Med. 2011 Jan;19(1):42–52.
5. Brughelli M, Cronin J. *Preventing hamstring injuries in sport*. Strength Cond J. 2008 Feb;30(1):55–64.
6. McHugh MP, Cosgrave CH. *To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance*. Scand J Med Sci Sports. 2010;20:169-81.
7. Sherry MA, Best TM. *A comparison of the 2 rehabilitation programs the treatment of acute hamstring strains*. J Orthop Sports Phys Ther. 2004 Mar;34(3):116–25.
8. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. *Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial*. Am J Sports Med. 2011 Nov;39(11):2296–303.
9. Noyes FR, Barber-Westin SD, Tutalo Smith ST, Campbell T. *A training program to improve neuromuscular and performance indices in female high school soccer players*. J Strength Cond Res. 2013 Feb;27(2):340–51.
10. Thelen DG, Chumanov ES, Sherry MA, Heiderscheit BC. *Neuromusculoskeletal models provide insights into the mechanisms and rehabilitation of hamstring strain*. Exerc Sports Sci Rev. 2006 Jul;34(3):135–41.
11. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. *Predicting hamstring strain injury in elite athletes*. Med Sci Sport Exerc. 2004 Mar;36(3):379–87.
12. Hoskins W, Pollard H. *The management of hamstring injury – Part 1: issues in diagnosis*. Man Ther. 2005 May;10(2):96–107.
13. Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. *Hamstring strain and injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention*. J Orthop Sports Phys Ther. 2010 Feb;40(2):67–81.
14. Asklung C, Lund H, Saartok T, Thortensson A. *Self-reported hamstring injuries in student-dancers*. Scand J Med Sci Sports. 2002 Aug;12(4):230–5.
15. Proske U, Morgan DL, Brockett CL, Percival P. *Identifying athletes at risk of hamstring strains and how to protect them*. Clin Exp Pharmacol Physiol. 2004 Aug;31(8):546–50.
16. Brughelli M, Cronin J. *Altering the length-tension relationship with eccentric exercise: implications for*

- performance and injury.* Sport Med. 2007 Sep;37(9):807–26.
17. Kawakami Y, Fukunaga T. *New insights into in vivo human skeletal muscle function.* Exerc Sport Sci Rev. 2006 Jan;34(1):16–21.
  18. McHugh MP, Pasiakos S. *The role of exercising muscle length in the protective adaptation to a single bout of eccentric exercise.* Eur J Appl Physiol. 2004 Dec;93(3):286–93.
  19. Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. *Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength with eccentric overload.* Scand J Med Sci Sports. 2003 Aug;13(4):244–50.
  20. 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. 2006 May;9(1–2):103–9.
  21. Brooks JH, Fuller CW, Kemp SP, Reddin DB. *Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union.* Am J Sports Med. 2006 Aug;34(8):1297–306.
  22. 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 Feb;18(1):40–8.
  23. Mjølshes R, Arnason A, Østhaugen T, Raastad T, Bahr R. *A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players.* Scand J Med Sci Sports. 2004 Oct;14(5):311–7.
  24. Naclerio F, Faigenbaum AD, Larumbe E, Goss-Sampson M, Perez-Bilbao T, Jimenez A, et al. *Effects of a low volume injury prevention program on the hamstring torque angle relationship.* Res Sports Med. 2013 Jun;21(3):253–63.
  25. Brughelli M, Mendiguchia J, Nosaka K, Idoate F, Arcos AL, Cronin J. *Effects of eccentric exercise on optimum length of the knee flexors and extensors during the preseason in professional soccer players.* Phys Ther Sport. 2010 May;11(2):50–5.
  26. Clark R, Bryant A, Culgán J, Hartley B. *The effects of hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: a pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries.* Phys Ther Sport. 2005 May;6:67–73.
  27. Daneshjoo A, Mokhtar AH, Rahnama N, Yusof A. *The effects of injury preventive warm-up programs on knee strength ratio in young male professional soccer players.* PLoS One. 2012;7(12):e50979.
  28. Verrall GM, Slavatinec JP, Barnes PG. *The effect of sports specific training on reducing the incidence of hamstring injuries in professional Australian rules football players.* Br J Sports Med. 2005 Jun;39(6):363–8.