

MÉTODOS MÁS EFICACES DE PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN DE LESIONES ISQUIOTIBIALES EN VELOCISTAS

GRADO DE CAFYD

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD
FÍSICA Y EL DEPORTE**



Realizado por: Alejandro Palomero González y Lucas Velasco Navarro

Grupo TFG: 13 (Mix61)

Año Académico: 2023-2024

Tutor/a: Marta Eulalia Blanco García / Valentín Fernández

Área: Revisión bibliográfica

RESUMEN

Introducción: Las lesiones isquiotibiales tienen gran importancia en los velocistas, con una alta prevalencia y porcentaje de recidivas. Esto afecta negativamente a su rendimiento alejándolos de la competición, con el coste deportivo y económico que supone. Objetivo: Hallar los métodos más eficaces de prevención y recuperación de la lesión isquiotibial en velocistas. Metodología: Se ha realizado una búsqueda en las bases de datos (Medline Complete, SPORTDiscus, Rehabilitation & Sports Medicine Source y CINAHL) con los términos “hamstring injury or hamstring tear or hamstring strain or biceps femoris injury” and “sprinters or track and field” and “recovery or rehabilitation or rehabilitation program or rehab”. Resultados y conclusiones: La combinación de ejercicios excéntricos, concéntrico-excéntricos a alta velocidad y progresiones de carrera preparan mejor las estructuras para tolerar las cargas de entrenamiento y competición. Un correcto diagnóstico, seguimiento del atleta y progresión de ejercicios es la forma más eficaz de abordar la recuperación, reduciendo el *RTP* y el porcentaje de recidiva.

Palabras clave: lesión isquiotibial, velocistas, vuelta al entrenamiento, recidiva.

ABSTRACT

Introduction: Hamstring injuries have great significance in sprinters, with high prevalence and reinjury rate. This can negatively affect their performance, keeping them away from competition, with the associated sportive and economic costs. Objective: Find the most efficient methods to reduce RTP after a hamstring muscle injury in sprinters. Methodology: A search was carried out in the databases (Medline Complete, SPORTDiscus, Rehabilitations & Sports Medicine Source and CINAHL) with terms “Hamstring Injury or Hamstring Tear or Hamstring Strain or Biceps Femoris Injury” and “sprinters and track and field” and “recovery or rehabilitation or rehabilitation program or rehab”. Results and conclusions: The combination of eccentric, high speed concentric-eccentric exercises and running progressions prepare the structures better for training and competition loads. A right diagnosis, follow-up of the athlete and exercise progression is the best way of approaching the recovery process, reducing RTP and reinjury rate.

Key words: hamstring injury, sprinters, return to play, reinjury.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción.....	5
1.1 Epidemiología	5
1.2 Estructura y función isquiotibial.....	5
1.3 Biomecánica de la carrera.....	6
1.4 Tipos y clasificación de lesiones musculares	7
1.5 Factores de riesgo	8
1.6 Factores de prevención y recuperación.....	8
2. Objetivos	9
3. Metodología	9
3.1 Diseño	9
3.2 Estrategia de búsqueda.....	9
3.3 Criterios de selección	9
3.4 Diagrama de flujo.....	10
4. Discusión	11
4.1 Introducción	11
4.2 Programas de recuperación en velocistas.....	12
4.3 Análisis de las estructuras afectadas.....	17
4.4 Selección de ejercicios.....	21
5. Futuras líneas de investigación	22
6. Conclusiones.....	23
7. Bibliografía.....	25
8. Anexos.....	28
8.1 Cuadro resumen de artículos seleccionados	28
8.2 Figuras	31

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Resumen de los artículos seleccionados</i>	26
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Fases de la carrera</i>	7
<i>Figura 2. Diagrama de flujo</i>	10
<i>Figura 3. Valores de EMG de activación isquiotibial (bíceps femoral y semitendinoso) de cada ejercicio</i>	21
<i>Figura 4. Resumen de la British Hamstring injury classification y su programa de readaptación</i>	31
<i>Figura 5. Programa Lengthening (ejercicio 1: el extensor)</i>	32
<i>Figura 6. Programa Lengthening (ejercicio 2: el buceador)</i>	32
<i>Figura 7. Programa Lengthening (ejercicio 3: el planeador)</i>	32
<i>Figura 8. Programa Conventional (ejercicio 1: estiramiento contracción-relajación)</i>	33
<i>Figura 9. Programa Conventional (ejercicio 2: péndulo en polea)</i>	33
<i>Figura 10. Programa Conventional (ejercicio 3: puente)</i>	33
<i>Figura 11. Ultrasonografía durante contracción isométrica de los músculos semitendinoso (ST) y bíceps femoral (BF)</i>	34
<i>Figura 12. Gráfico de la fuerza ejercida durante el Nordic Hamstring Exercise (NHE) medida desde pecho-torso (A), rodilla (B) y tobillo (C)</i>	34
<i>Figura 13. Imagen del aparato NordBord Device con cada una de las partes que lo forman</i>	34
<i>Figura 14. Imagen del NordBord Device</i>	35
<i>Figura 15. Gráfica entre la fuerza máxima de flexión de rodilla y el tiempo del Participante 1 (negro) y 2 (naranja)</i>	35
<i>Figura 16. Gráfica entre la fuerza máxima de flexión de rodilla, el tiempo y la velocidad del Participante 1 (negro) y 2 (naranja)</i>	35
<i>Figura 17. Ejercicio Nórdico o “nordic curl” o “nordic hamstring exercise”</i>	36
<i>Figura 18. Ejercicio flexión en fitball</i>	36
<i>Figura 19. Ejercicio slide-leg</i>	37

1. Introducción

Actualmente, la evidencia científica es limitada con respecto a las estrategias de prevención y recuperación de la lesión de la musculatura isquiotibial. Es por eso, que hemos de tener en cuenta su carácter multifacético relacionando tanto su alta incidencia como elevada recurrencia lesional en el ámbito deportivo y en base a ello analizar sus factores de riesgo para, de acuerdo con estos, describir estrategias para prevenir y recuperar dichas lesiones (De Hoyo, y otros, 2013).

1.1 Epidemiología

La incidencia de la lesión isquiotibial reportada en diferentes estudios se encuentra entre el 8 y el 25% dependiendo del deporte en cuestión. Además, esta lesión presenta un alto riesgo de recidiva, la cual suele producirse en las dos primeras semanas después del regreso al entrenamiento o RTP (*Return to Play*), siendo de un 13% la primera semana y de un 8% la segunda (De Hoyo, y otros, 2013).

Las lesiones isquiotibiales provocan una ausencia a la competición generalmente entre los 3 y 28 días dependiendo de la gravedad de esta. Las lesiones que involucran la parte proximal de la musculatura cerca de la tuberosidad isquiática o que son de mayor tamaño suelen conllevar un mayor tiempo de recuperación (Malliaropoulos N. G., 2012).

En el atletismo o "*track and field*", según Martin et al. (2022), las tasas de recidiva se encuentran entre el 13,9 y 63,3%. En el caso de los atletas de élite, las decisiones sobre la vuelta a la competición y la disponibilidad de los atletas tiene impactos económicos y deportivos sobre los equipos. Por ello, hay un enorme interés en optimizar el diagnóstico, manejo y readaptación de las lesiones musculares para minimizar el tiempo de ausencia y las recaídas de los atletas (Malliaropoulos N. G., 2012).

1.2 Estructura y función isquiotibial

Los isquiotibiales (IT) consisten en tres músculos que recorren desde la articulación de la cadera hasta la de la rodilla, y que asisten a la extensión de la primera y a la flexión de la segunda, respectivamente: el músculo semimembranoso (SM),

semitendinoso (ST) y bíceps femoral o crural (BF). Los tres músculos tienen su origen en la tuberosidad isquiática en la cadera, menos la porción corta del BF que se origina en el labio externo de la línea áspera del fémur. Después, el SM se inserta en el cóndilo interno de la tibia, el ST en la cara interna de la tibia (conforma la “Pata de Ganso”) y el BF en la cabeza del peroné siendo el único de los tres músculos que no llega a la tibia (Scarfo, 2000).

Por su anatomía, estos músculos son biarticulares. Atraviesan dos articulaciones originando una cadena cinética importante en ellas, en este caso, cadera y rodilla, no pudiendo actuar como uniarticular, sin la asistencia de otros, a menos que una de las acciones articulares sea estabilizada por otros músculos (Scarfo, 2000).

1.3 Biomecánica de la carrera

Deportes como el atletismo dentro del cual incluimos pruebas de velocidad, saltos y lanzamientos, las lesiones isquiotibiales son muy frecuentes. Del mismo modo ocurre con deportes como el rugby o fútbol, con abundancia de cambios de dirección, que tienen la mayor tasa de lesión isquiotibial (Malliaropoulos N. G., 2012).

Para analizar los factores de riesgo y prevención ante una lesión isquiotibial, es importante conocer las fases dentro de la carrera, ya que este suele ser el mecanismo lesional de las lesiones musculares sin contacto. Como describe Kenneally-Dabrowsky et al. (2019) encontramos varias fases que nos permiten dividirla para un mejor análisis:

- a) **Early swing**: Momento en el que el pie se eleva del suelo para comenzar la flexión de rodilla.
- b) **Mid swing**: Momento de máxima flexión de rodilla.
- c) **Late swing**: Fase final del vuelo en la que la pierna se prepara para el apoyo.
- d) **Early Stance / foot strike**: Momento en el que el pie hace contacto con el suelo.
- e) **Mid Stance**: Momento en el que se da el mayor apoyo del pie antes de comenzar el despegue.
- f) **Late Stance / toe off**: Momento previo al despegue del pie.

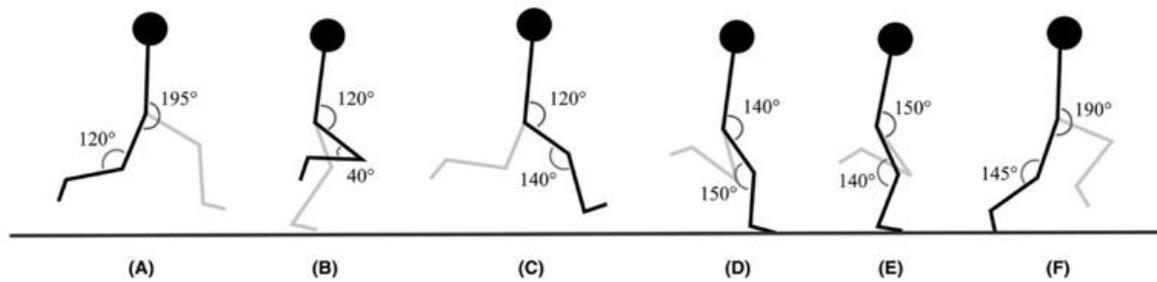


Figura 1. Fases de la carrera (Kenneally-Dabrowsky, et al., 2019)

Según Kenneally-Dabrowsky et al. (2019), Heiderscheit et al. (2005), Schache et al. (2009), Schache et al. (2010) y Lehnert et al. (2018) la fase de “*late swing*” es la más lesiva para la cabeza larga del BF en sprints de alta velocidad. Otros autores como Orchard et al. (2011) sugieren la fase de “*early stance*” como la más lesiva por encima del “*late swing*”. Expone que las lesiones musculares suelen ocurrir en cadena cinética cerrada debido a la contraposición de fuerzas que se generan desde el suelo al apoyar el pie y no tanto en cadena cinética abierta cuando la musculatura se elonga excesivamente (Orchard, 2011).

Por otro lado, tenemos opiniones mixtas como es el caso de Yu et al. (2017), que sugiere que ambas fases son potencialmente lesivas. Define estas dos fases como una sola: “*swing-stance transition*” (transición “*swing-stance*”). Proponen que tanto las fuerzas inerciales del “*late swing*” como las fuerzas externas de reacción contra el suelo en el “*early stance*” tienen el potencial de causar una lesión muscular a la cabeza larga del BF durante un sprint de alta velocidad.

1.4 Tipos y clasificación de lesiones musculares

De acuerdo con Malliaropoulos N. G. et al. (2012) hay al menos dos tipos distintos de lesiones agudas en los isquiotibiales, que se distinguen mejor según el mecanismo de lesión. La más común ocurre durante *sprints*, en la cabeza larga del BF localizándose más habitualmente en la estructura tendinosa. Por otro lado, tenemos la lesión por elongación que suele encontrarse localizada cerca de la tuberosidad isquiática e involucra tejido tendinoso del SM (Malliaropoulos N. G., 2012).

Según Malliaropoulos N. G. et al. (2012), la clasificación de la gravedad de la lesión sin contacto es: elongación o grado 1, rotura parcial o grado 2, rotura completa o grado 3. Como métodos diagnósticos, se utilizan la medición del rango de movimiento (ROM), palpación y evaluaciones con Resonancia Magnética Nuclear (RMN). También es de especial importancia la localización anatómica de la lesión para el diagnóstico a partir del cual llevar a cabo un buen programa de rehabilitación.

1.5 Factores de riesgo

Además de la biomecánica de carrera descrita anteriormente, también contamos con otros factores de riesgo según Martin et al. (2022) que se pueden clasificar en “modificables”: peso e índice de masa corporal, calidad y cantidad de tejido muscular, rendimiento y/o activación de esa musculatura en la actividad; o “no modificables”: características físicas como la edad, altura o antecedentes de lesión isquiotibial. Este último, de acuerdo con Martin et al. (2022) y Malliaropoulos N. G. et al. (2012) es el principal factor de riesgo hacia una nueva lesión, siendo hasta tres veces mayor el riesgo de volver a tener una lesión en esta musculatura.

1.6 Factores de prevención y recuperación

Se recomienda un fortalecimiento selectivo de la musculatura isquiotibial para prevenir su lesión (Malliaropoulos N. G., 2012). También se apuesta por el trabajo excéntrico de esta musculatura, siendo una parte clave de los programas de prevención. Evidencia reciente sugiere que los protocolos que lo utilizan son capaces de reducir el riesgo de lesión; sin embargo, la literatura actual con programas de readaptación efectivos para guiar a los preparadores físicos es escasa (Malliaropoulos N. G., 2012).

De acuerdo con Malliaropoulos N. G. et al. (2012) y Martin et al. (2022) la alta incidencia de recidivas en lesiones isquiotibiales se puede atribuir a una mala readaptación o vuelta prematura a la actividad. Es por ello, que creemos necesario investigar con qué tipología de programas de prevención y readaptación podemos

conseguir una mejor calidad y fuerza del tejido muscular en el menor tiempo posible para el RTP.

2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto de revisión bibliográfica es describir los métodos más eficaces de recuperación y prevención de lesión isquiotibial en la población de velocistas o “sprinters”.

3. Metodología

3.1 Diseño

Se ha realizado una revisión bibliográfica de artículos científicos en las bases de datos de “MEDLINE complete”, “SPORTDiscus”, “Rehabilitation & Sports Medicine Source” y “CINAHL” sobre los métodos más eficaces de recuperación y prevención de la lesión isquiotibial en velocistas.

3.2 Estrategia de búsqueda

Se consultaron las bases de datos “MEDLINE complete”, “SPORTDiscus”, “Rehabilitation & Sports Medicine Source” y “CINAHL” mediante la ecuación de búsqueda avanzada, “(hamstring injury or hamstring tear or hamstring strain or biceps femoris injury) AND (sprinters or track and field) AND (recovery or rehabilitation or rehabilitation program or rehab)”.

3.3 Criterios de selección

Se aplicaron los siguientes criterios inclusivos de selección:

- Artículos científicos originales a texto completo.
- Artículos publicados en los últimos 10 años (2013-2023).
- Artículos publicados en inglés.
- Artículos que se ajustan a lesiones intramusculares.

Se aplicaron los siguientes criterios exclusivos de selección:

- Artículos que son revisiones.

- Artículos que realizan un tratamiento invasivo.
- Artículos que no se ajustan a la población de estudio (no velocistas).
- Artículos que no se ajustan al tema.

3.4 Diagrama de flujo

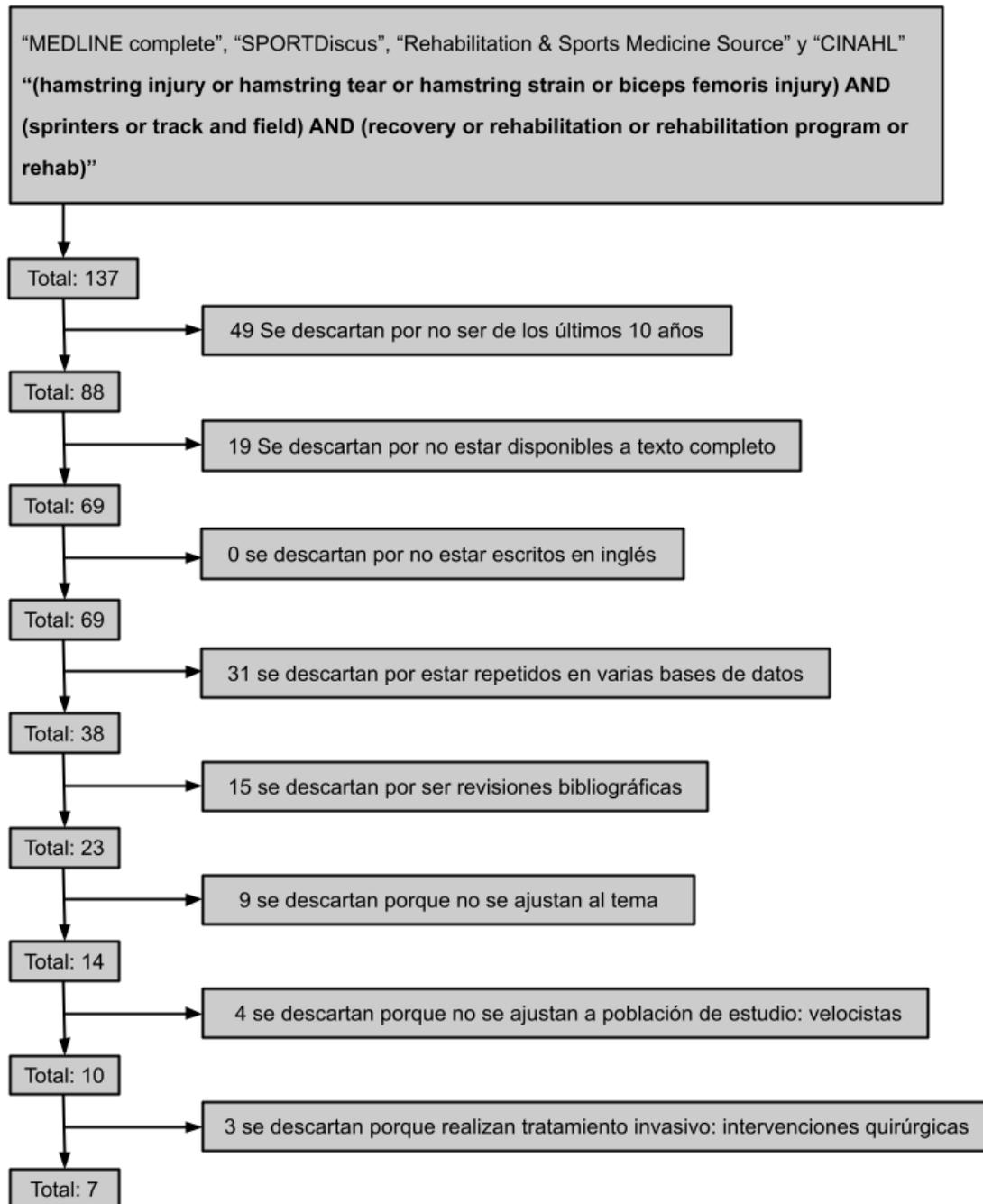


Figura 2. Diagrama de flujo

4. Discusión

4.1 Introducción

Tras la revisión de estos siete artículos hemos observado que, su gran mayoría, tiene un solo grupo de intervención de estudio excepto Askling et al. (2014) que compara con otro control. Por otro lado, hay que aclarar que gran parte de ellos hablan de velocistas, pero también existen sujetos que forman parte de otras disciplinas como el fútbol, carrera de media y larga distancia. La edad de los participantes ronda los 20 y 30 años y forman parte de poblaciones tanto sanas como lesionadas. Decidimos seleccionar ambos tipos de población para obtener un abanico más amplio y poder optar a más opciones de programas de rehabilitación y prevención.

Una de las limitaciones de esta revisión es la muestra, que es muy pequeña, contando con grupos desde 6 hasta 46 participantes. Otra limitación, es la generalización, en algunos artículos, del paquete isquiotibial cuando en realidad la musculatura testeada consta del semitendinoso y bíceps femoral a excepción del semimembranoso (Nagano et al., 2015). Por consiguiente, existen artículos como Augustsson et al. (2023) donde la prueba experimental se realiza fuera de temporada, obviando momentos del deportista en que podría encontrarse en picos más altos o bajos de su forma físico-mental. También la realización de series de aproximación submáximas a modo de calentamiento previo a la prueba, pudo suponer fatiga tanto a nivel muscular como neural y, a pesar de que fueron obtenidos resultados concluyentes, los valores pudieron ser aún más heterogéneos (Augustsson & Andersson et al., 2023).

Las lesiones isquiotibiales no sólo ocupan uno de los mayores porcentajes de lesión en la historia deportiva de los atletas sino también sus recidivas, muchas veces de mayor gravedad que la lesión inicial. Por ello, decidimos analizar diferentes programas de rehabilitación y selección de ejercicios para comprender mejor cómo mejorar los programas de recuperación para una vuelta rápida a la práctica deportiva de la forma más segura posible.

4.2 Programas de recuperación en velocistas

Ambos estudios con intervención en velocistas lesionados tenían como objetivo ver la eficacia de un programa de rehabilitación evaluando el *RTP (Return to Play)* y el número de recidivas. Askling et. al (2014) realizaron 2 programas diferentes con un grupo control mientras que Pollock, et al. (2022) aplicó un solo programa no tan específico, basándose en los principios de la Federación Británica de Atletismo, con sus clasificaciones de lesiones y protocolos de readaptación. Askling et al. (2014) estudió solo a velocistas mientras que Pollock et al. (2022) analizó a corredores de atletismo divididos entre grupos de velocidad, media distancia y larga distancia, siendo un 70% de las lesiones en el grupo de atletas velocistas.

Pollock et al. (2022) estudiaron 70 lesiones en 46 atletas de élite con 24 años de media que tuvieron una lesión isquiotibial en un periodo de 4 años y les aplicaron la clasificación británica de lesiones musculares (*British Athletics Muscle Injury Classification* o BAGIC) para posteriormente aplicar el programa de rehabilitación establecido por la BAGIC y el equipo médico de la Federación Británica de Atletismo (*British Athletics Rehabilitation Approach*), ambos están detallados en la *figura 4* situada en el anexo de figuras. Esta es una clasificación de lesiones musculares para dividir a los atletas dependiendo de la zona dañada (a, b, c) y gravedad de la lesión (0-4). Los tipos son: tejido muscular miofascial (clase a), tejido de la unión miotendinosa (clase b) y tejido tendinoso (clase c). La lesión se estudiaba con Resonancia Magnética Nuclear (RMN) en los 7 días siguientes a producirse y el equipo médico británico de atletismo (*British Athletics Medical Team*) prescribía un programa específico de rehabilitación (Pollock, et al., 2022).

En el estudio de Askling et al. (2014) también estudiaban la extensión y localización de la lesión con RMN, dejando hasta 5 días para la evaluación. No tenían una clasificación tan detallada, pero sí hacían subgrupos dependiendo del género y si tenían daño en tejido tendinoso o no para dosificar mejor las cargas en la recuperación posterior. Su población de estudio fueron 46 velocistas y 10 saltadores que habían tenido una lesión isquiotibial.

De acuerdo con Pollock et al. (2022) esta clasificación se relaciona con un programa específico de recuperación dependiendo de la clase (a, b, c) de la lesión cual sea. Para las lesiones de clase a (tejido muscular miofascial), el tiempo de reparación del tejido es de hasta 3 semanas, en las lesiones de clase b (tejido miotendinoso) hablan de unas 4-8 semanas de reparación y, para las de clase c (tejido tendinoso) el tiempo de recuperación es de 2-4 meses. El protocolo unificado de la BAMIC no define específicamente qué ejercicios se realizan, pero sí da unos principios detallados de cómo progresar en la recuperación. Esta progresión consistía en 3 etapas:

A) Progresión de carrera (*running progressions*)

Para lesiones miofasciales (clase a) los primeros entrenos de carrera funcional se realizan sin complicación una vez pasada la fase inflamatoria, para las lesiones miotendinosas (clase b) se establecen ejercicios con progresión en intensidades y ejercicios específicos de técnica de carrera en atletismo. Para las lesiones tendinosas, esta etapa de impacto y carrera se incluye más tarde en la rehabilitación para evitar elongaciones en estructuras tendinosas aún en reparación biológica.

B) Entrenamiento de fuerza (*strenght training*)

Para las lesiones miofasciales se realizaba una vuelta al programa de fuerza habitual del atleta además de unos ejercicios específicos de fortalecimiento isquiotibial. Las lesiones miotendinosas incluían una combinación de ejercicios isométricos y excéntricos con especial atención al músculo lesionado y con objetivos funcionales a superar. En las lesiones tendinosas se aumentaba el tiempo realizando estos ejercicios isométricos para dar tiempo al tendón de adaptarse a las cargas, retrasando la incorporación de ejercicios excéntricos.

C) Vuelta completa al entrenamiento (*return to full training*)

Una vez llegados a esta última etapa, en todas las lesiones se realizaba un examen clínico para evaluar al deportista y unas progresiones de carrera. Si el atleta

superaba ambas, se podía incorporar al entrenamiento de forma completa. Las lesiones miotendinosas y tendinosas incluían además unas pruebas de fuerza y biomecánica antes de volver al entrenamiento.

Además de estas progresiones según la clasificación de la lesión, la BAMIC incluye 6 principios de rehabilitación comunes a todas las lesiones isquiotibiales, que también se encuentran descritos al inicio de la *figura 4*. La progresión en el programa BAMIC se realizaba intentando no estresar mucho al tejido inicialmente, usando ejercicios isométricos para facilitar la adaptación de las estructuras a la carga. De ahí se progresaba a ejercicios excéntricos con mayor estiramiento y estrés. Destacan que la rehabilitación no es sólo un protocolo de ejercicios, sino un programa coordinado entre atletas, entrenadores y equipos médicos. Esto último creemos que es de vital importancia ya que trabajan varios profesionales al mismo tiempo y se necesita de una buena comunicación para que el atleta avance de forma segura y rápida en su recuperación.

Askling et al. (2014) dividieron a los atletas en 2 grupos (L y C), sin que tuviesen diferencias significativas en edad, altura, peso, género, nivel de rendimiento y gravedad de la lesión. El grupo L (*Lengthening*) realizaba un programa de entrenamiento con énfasis en ejercicios excéntricos y/o en estiramiento mientras que el C (*Conventional*) que actuaba de grupo control, hacía un programa de entrenamiento utilizando ejercicios convencionales sin tanta importancia del trabajo excéntrico. La división de los atletas en los dos grupos se hizo de forma aleatoria. Estos programas sí contaban con ejercicios concretos, tres por cada grupo. Los ejercicios del programa L están representados en las *figuras 5, 6 y 7* mientras que los del grupo C en las *figuras 8, 9 y 10*. Cada ejercicio tenía un objetivo, el primer ejercicio la flexibilidad, el segundo la fuerza más estabilidad pélvica y el tercero la fuerza específica isquiotibial.

Ambos protocolos se comenzaban cinco días después de la lesión y se realizaban tres veces por semana. Además de los tres ejercicios, la sesión incluía un calentamiento en bicicleta estática (10') seguido de un "skipping" estático (10 repeticiones de 20") y unas pequeñas series de aceleración adelante-atrás (10

repeticiones de 10). Una vez se podían realizar ambas partes sin dolor, se realizaba una progresión de carrera que consistía en *sprints* a alta velocidad (6 repeticiones de 20 metros, 4 de 40 metros y 2 de 60 metros) realizados tres veces por semana también.

La forma de progresar en el programa de Askling et al. (2014) consistía en aumentar la velocidad y la carga de los ejercicios con el tiempo sin permitir en ningún momento la presencia de dolor. Las lesiones eran evaluadas una vez por semana durante todo el programa, y los ejercicios supervisados por el preparador físico responsable del atleta durante todo el programa. Como podemos observar, el protocolo de Pollock et al. (2022) y el de Askling et al. (2014) aplicaban un entrenamiento de fuerza combinado con progresiones/ejercicios de carrera. Posteriormente, analizando los resultados de ambos observamos que esta combinación permite al deportista avanzar eficazmente en su recuperación siempre y cuando se respeten los tiempos biológicos de regeneración de los tejidos.

Tanto Pollock et al. (2022) como Askling et al. (2014) utilizaron el *RTP* y el número de recidivas como variables para medir la eficacia de sus respectivos protocolos, Pollock et al. (2022) durante los tres meses siguientes y Askling et al. (2014) durante 1 año. Ambos investigadores usaban una prueba o test final antes de devolver al deportista al entrenamiento y competición. Pollock et al. (2022) optaron por los *sprints* a máxima velocidad en pista con el calzado de clavos habitual del velocista mientras que Askling et al. (2014) introducen el “H-test”. Esta prueba consiste en que el atleta realiza la máxima flexión de cadera con rodilla extendida lo más rápido posible tres veces consecutivas. Si el atleta tuvo algún tipo de inseguridad o duda al realizar el gesto (Escala Visual Analógica de 0-10) no se le permitía volver al entrenamiento completo, sino que, al contrario, se ampliaba su periodo de rehabilitación y se repetía el “H-test” en un intervalo de tres a cinco días hasta que la inseguridad desapareciese.

Pollock et al. (2022) en comparación con el estudio de dos protocolos de Askling et al. (2014) demostró más rapidez en la vuelta a entrenamientos completos (49 y 86 días en comparación con 9 días mínimo y 51 días máximo en el estudio de Pollock,

et al. (2022). Hay que matizar que la inclusión del “H-test” por parte de Askling et al. (2014) hizo que aumentara el tiempo de recuperación respecto a otros estudios que no aplicaban una prueba de este estilo. Pese a ello los autores hacen énfasis en la importancia de una prueba igual o parecida para asegurar que no haya recidivas, ya que solo se reportaron dos en un periodo de 1 año en los 56 atletas estudiados. Esta prueba no afectó a la diferencia significativa de *RTP* entre ambos grupos ya que de no haberse aplicado la diferencia de días habría seguido siendo importante (47 días frente a 79).

Los resultados de Askling et al. (2014) nos indican que es más efectivo el programa L (*Lengthening*) ya que sus atletas tuvieron un *RTP* menor (49 frente a 86 días). Los autores creen que la diferencia de resultados se debe a la mayor capacidad de estresar los isquiotibiales durante su estiramiento que tienen los ejercicios excéntricos de este programa. La fisiología que puede explicar estos resultados tiene que ver con la inhibición neuromuscular que se produce en las fibras musculares tras sufrir una lesión isquiotibial. Esta inhibición no permite a la musculatura tolerar mucha carga durante contracciones en estiramiento, las fibras entonces se protegen y no se exponen a este tipo de estrés que le supone la contracción excéntrica volviéndose cada vez más débiles (Askling, et al. 2014). Esto explica el sentido de introducir ejercicios excéntricos en las recuperaciones, para dar este estímulo, del que la musculatura se está protegiendo y, por tanto, debilitando con el tiempo siendo un factor de riesgo para cuando le exijamos ese tipo de contracción en el entrenamiento y/o competición. Para dar el resultado final Pollock et al. (2022) realizaron una media entre todos los *RTP* de las diferentes clases de lesiones (a, b, c y grados 0-4).

En ambos estudios las lesiones ocurrieron con mayor frecuencia en la cabeza larga del bíceps femoral seguido del semitendinoso. También coincidieron los datos en cuanto a que la mayoría de las lesiones ocurrían durante el entrenamiento (77% al final de este) y el 93% durante *sprints* de máxima velocidad, ambos en el estudio de (Askling, et. al 2014).

En ambos estudios se refuerza la idea de que, como era de esperar, las lesiones que afectan al tendón se asocian con mayor tiempo de recuperación. Gracias al poco número de recidivas registrados, refuerzan la idea de que los protocolos de recuperación conservadores (sin cirugía) para lesiones isquiotibiales musculares que afectan al tendón son eficaces, aunque conlleven más tiempo. Este tejido recupera más lentamente y diferente al muscular debido a que requiere de síntesis y remodelación de colágeno para tolerar las cargas.

Ambos estudios comparten la introducción de (Sanfilippo, Silder, Sherry, Tuite, & Heiderscheit, 2013) ejercicios excéntricos de manera considerable en los programas de recuperación y una prueba específica para evaluar si el deportista está listo para volver al entrenamiento. Una limitación de ambos estudios es la capacidad de evaluar a sus deportistas con RMN y no solo con ecografía o de manera manual, esto supone un aspecto clave a la hora de avanzar en las fases de la readaptación sobre todo en las lesiones con afectación del tendón.

Según Askling et al. (2014) un factor que puede explicar el prolongado tiempo de recuperación en velocistas comparado con la literatura actual sobre futbolistas es que para poder prevenir una recidiva en estos atletas se necesita el 100% de la funcionalidad y fuerza debido a la naturaleza del atletismo de velocidad. Un futbolista puede seguramente jugar sin necesidad de tener el 100% de la función debido a que este deporte no se realiza todo el tiempo a la máxima velocidad.

4.3 Análisis de las estructuras afectadas

Por otro lado, Nagano et al. (2015) nos muestra un artículo basado en la unión de la estructura y función de los músculos semitendinoso y bíceps femoral (cabeza larga y corta). Su objetivo consistía en medir el cambio de espesor/grosor muscular de estos músculos bajo condiciones de contracción durante el proceso de RTP de la musculatura principalmente afectada. A pesar de partir de una muestra muy pequeña de un total de 6 sujetos, todos y cada uno de ellos se definían como velocistas. Sin falta, tenían que cumplir la condición de haber experimentado previamente una lesión isquiotibial que les hubiera obligado a estar fuera de la

práctica deportiva un mínimo de 2 semanas. En la *figura 10* se demuestra cómo el daño muscular en el semitendinoso (ST) no afectó al espesor de su porción proximal ya que se dio un aumento de éste durante la ultrasonografía en contracción isométrica. Por otro lado, el hecho de que no haya incrementado de la misma forma el espesor de la musculatura del bíceps femoral (BF) del lado afecto sabiendo que es un músculo de mayor tamaño, puede indicarnos que es el músculo isquiotibial que más se lesiona. Es decir, existía una insuficiencia en la recuperación de la función muscular isquiotibial. La fuerza isquiotibial fue evaluada en el pico máximo de torque durante contracción isocinética (contracción máxima a una velocidad constante en todo el ROM) (Nagano, Higashihara, & Edama, 2015).

De acuerdo con Slider et al. (2010), durante el proceso de recuperación después de lesión, el músculo debe ser capaz de contraerse un mínimo suficiente para poder mejorar la fuerza. Una insuficiente contracción muscular, causada por la remodelación muscular o por inhibición neuromuscular es lo que nos puede llevar a una atrofia selectiva o recidiva. Ésta es la atrofia residual (en concreto del BF) a la que hace referencia Slider et al. (2010) con la que volvían los atletas al deporte cuando investigaba la morfología muscular de la lesión isquiotibial. A ello se sumó la participación de Sanfilippo, Silder, Sherry, Tuite, & Heiderscheit et al. (2013) demostrando un decrecimiento del volumen muscular en un 4-5% una vez comenzada la vuelta a la práctica deportiva. Aunque estos estudios no consideran el ángulo de penetración u otros parámetros que ayuden a evaluar la función isquiotibial, la presencia de atrofia muscular ya nos sugiere que algo no está funcionando correctamente.

Por consiguiente, encontramos que, otra variedad de prevención e incluso rehabilitación de lesiones era la realización del NHE o *Nordic Hamstring Exercise*. Primero, tenemos a Augustsson & Andersson et al. (2023) donde investigaba las diferencias en la fuerza máxima flexora de rodilla entre hacer el *NHE* de una forma únicamente excéntrica (*ENHE*) o combinando concéntrico-excéntrico (*ECNHE*) (*Figura 11*). Su muestra crece un poco más con respecto a la anterior, pero sigue siendo pequeña y hemos de destacar que de los 15 atletas mencionados, tan sólo dos de ellos son puros velocistas mientras que el resto pertenecían a la disciplina

del fútbol. La prueba del *NHE* la realizaban, como ilustra la *figura 12*, con un aparato de nombre “*NordBord device*” creado específicamente para este estudio. Dentro de sus muchas partes encontrábamos un Encoder lineal atado al torso del sujeto para medir la posición a la que se encontraba éste en su momento máximo de fuerza, una carga atada al tobillo por medio de un “*strap*” y una placa de fuerza bajo las rodillas y tibias. Como se puede apreciar, se involucran dos articulaciones e incluso tres, si mencionamos la cadera (grados de flexión), porque el objetivo secundario de Augustsson & Andersson et al. (2023) consistía en determinar la correlación, la cual resultó muy fuerte, entre la fuerza isquiotibial medida con la aparatología atada al tobillo o con la placa mencionada anteriormente. Aunque las diferencias a nivel de fuerza máxima flexora isquiotibial resultaron mínimas, si comparamos entre *ENHE* y *ECNHE*, fue en el último donde se alcanzó el pico de fuerza con un 37% menos de recorrido. Es decir, con *ECNHE* es capaz de implicar ese mismo nivel de fuerza sólo que a una longitud de sarcómero isquiotibial más corta, exponiéndolo a un menor riesgo de lesión/dolor y por tanto, más tolerable en rehabilitación para el atleta (Augustsson & Andersson et al., 2023).

ENHE ha sido utilizado muy comúnmente para testear miembros inferiores para así determinar el *RTP* en pacientes después de reconstrucción de LCA (Ligamento Cruzado Anterior). Sin embargo, como decíamos anteriormente, un entrenamiento *ECNHE* buscando una longitud muscular menor puede suponer un menor agotamiento y por tanto una alternativa a utilizar en fases tempranas y medias de la rehabilitación del ligamento (Augustsson & Andersson et al., 2023).

Por último, el siguiente estudio de Augustsson et al. (2023) enlazaba justo después con el anterior; de hecho, lo realizan aproximadamente los mismos autores. Ese mismo año quisieron investigar de nuevo la fuerza máxima flexora de rodilla pero esta vez durante el ciclo de estiramiento-acortamiento rápido (*NHEssc*) comparado con el excéntrico lento (*NHEecc*). La prueba del *NHE* la realizaban de nuevo, como ilustra la *figura 13*, con el aparato de nombre “*NordBord device*”, con el añadido de un goniómetro (situado en la cara externa de la rodilla derecha) para realizar mediciones de los rangos de flexión de la articulación de la rodilla durante las diferentes contracciones. La muestra siguió aumentando. Esta vez eran un total de

22 atletas y mientras 5 de ellos practicaban fútbol, los 17 restantes eran velocistas de la disciplina de atletismo (un participante fue excluido por padecer calambres en los gastrocnemios durante la prueba). Se presentaba un requisito de inclusión nuevo con respecto al anterior estudio, todos debían tener experiencia previa en la práctica del *NHE* excéntrico lento (variante realizada en el artículo de Augustsson & Andersson et al. (2023) y, sin embargo, sin experiencia en las variantes a investigar en el mismo proyecto.

De nuevo los resultados fueron intrigantes, el ciclo de estiramiento-acortamiento rápido (*NHEssc*) contribuyó a una mejora del 13% en la realización del *NHE* con respecto a la versión excéntrica lenta standard. Y, de modo contrario, un 86% de los participantes consiguieron incrementar la distancia hasta el “*breakpoint*” (punto de mayor descenso del ejercicio) en un 32% con el *NHEecc* comparado con el *NHEssc*. Para explicar los resultados de una forma más precisa, se cogieron de forma aleatoria a dos participantes, 1 y 2 (Augustsson et al., 2023).

Según Augustsson et al. (2023), en la figura 15, el participante 1 demostró tener 2 veces más fuerza máxima flexora de rodilla en *NHEssc* que en *NHEecc*, mientras que el participante 2 no obtuvo variaciones en la fuerza entre ambas variantes del ejercicio. Esto fue así debido a que, como se muestra en la figura 16, el participante 1 exhibió una gran aceleración y deceleración durante el ciclo de estiramiento-acortamiento rápido, llevándole a obtener una mayor fuerza, comparados con los valores más moderados del participante 2. El pico de fuerza flexora de rodilla se alcanzó al final de la deceleración de la fase excéntrica casi a velocidad 0 (km/h) en ambos participantes. (El “cuadrado negro” y el “triángulo naranja” lo indican, respectivamente) (Augustsson et al., 2023).

Sin embargo, muchos, si no la mayoría, exhibieron una inadecuada capacidad de fuerza para sostener una alta activación muscular durante la ejecución del *NHE* a ROMs (rangos de movimiento) de rodilla muy extendida de entre 30-0°. Es por esto por lo que se propone realizar estudios donde se experimente con diferentes grados de flexión de cadera ya que podría significar un mayor alargamiento de la unión miotendinosa, así como del vientre, pudiendo llegar a generar una capacidad de

absorción de energía mayor y por tanto una fuerza más alta (Augustsson et al., 2023).

4.4 Selección de ejercicios

En la línea de analizar ejercicios recomendados para una buena readaptación se encuentra Tsaklis, et al. (2015) que analizó mediante EMG (electromiografía) la activación isquiotibial de varios ejercicios comunes en estos programas de rehabilitación. Este estudio se realizó sobre sujetos sanos (20 mujeres velocistas de élite) y midieron su activación en 10 ejercicios diferentes durante contracciones máximas isométricas. También utilizaron un electrogoniómetro sincronizado con el EMG para determinar si el valor pico registrado en el EMG ocurría durante el estiramiento, acortamiento o sin cambio de longitud de la unión miotendinosa. Este es el gráfico con los resultados de activación muscular:

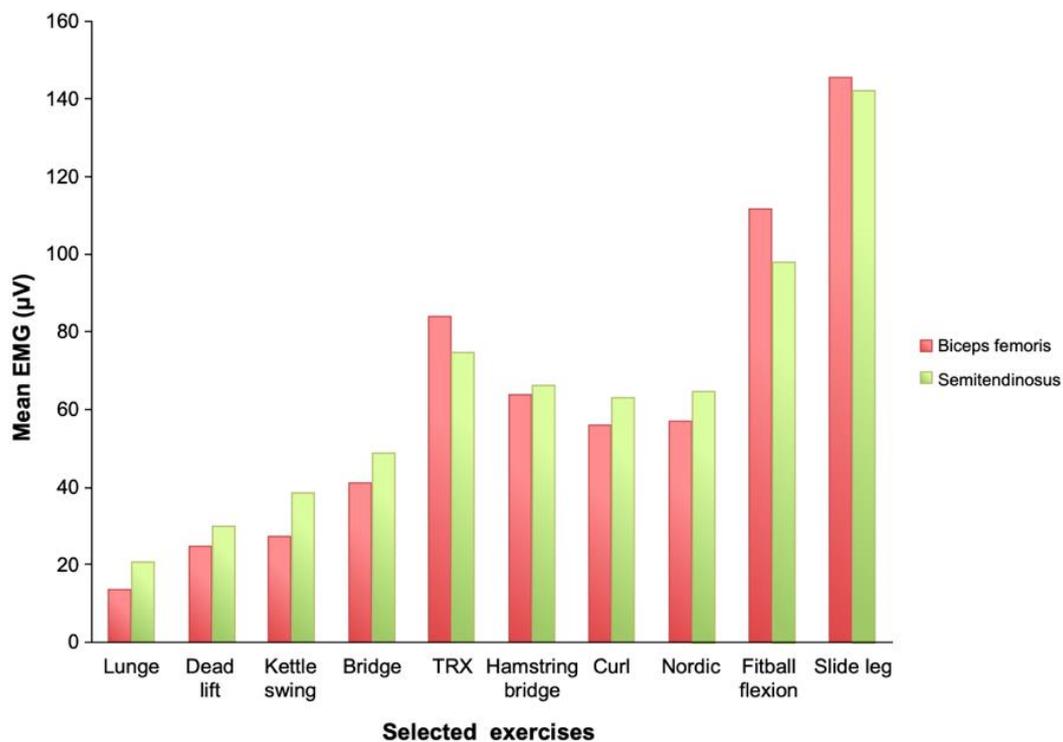


Figura 3. Valores de EMG de activación isquiotibial (bíceps femoral y semitendinoso) de cada ejercicio (Tsaklis, et al., 2015)

Según estos resultados, los ejercicios quedaron divididos según sus intensidades:

- Baja intensidad: zancadas, peso muerto y “*kettle-swings*”.
- Media intensidad: puente convencional, puente en TRX y puente isquiotibial.
- Alta intensidad: nórdico, flexión en fitball y “*slide-leg*” (representados en las figuras 17,18 y 19 en el anexo de figuras).

Solo el ejercicio de flexión en fitball activó más el bíceps femoral que el semitendinoso, y solo las zancadas junto con los “*kettle-swings*” consiguieron el pico de activación EMG en la unión miotendinosa durante el estiramiento. Ambos ejercicios necesitan de una alta velocidad para su realización (Tsaklis, et al., 2015). Esta última idea nos indica que un aumento de la velocidad en la realización de los ejercicios aumenta la carga que tiene que tolerar la unión miotendinosa y sirve como método de sobrecarga progresiva durante la readaptación.

Ya finalizando, Otsuka, et al. (2022) examinó la relación entre el RTP después una lesión isquiotibial con déficits en la biomecánica de carrera, funcionalidad y estructura de los isquiotibiales en velocistas universitarios. Esto se realizó en 72 velocistas con unas pruebas iniciales: carrera de 60 metros, flexión de cadera pasiva y flexión isométrica de rodilla (se realizaban al principio de la temporada durante 3 años consecutivos). Después, se realizaba un análisis post-lesión en los velocistas lesionados con las mismas pruebas y se comparaban resultados con niveles pre-lesión. Sus resultados indican que los déficits biomecánicos durante las fases de “*swing*” se asocian con un aumento en el RTP. También observaron alteraciones en los niveles de fuerza y flexibilidad, esto sugiere que una especial atención a los niveles de fuerza, técnica de carrera y estabilidad lumbopélvica son importantes para reducir el RTP incluso prevenir de una lesión isquiotibial (Otsuka, et al., 2022).

5. Futuras líneas de investigación

Hay diferentes propuestas que creemos que deben ser estudiadas a continuación de esta revisión. En el artículo de Augustsson et al. (2023), pudimos observar que la mayoría de los sujetos exhibieron una inadecuada capacidad de fuerza para

mantener una alta activación muscular durante la ejecución del NHE a ROMs de rodilla muy extendida de entre 30-0°. Por esto, proponemos realizar estudios donde se experimente con diferentes grados de flexión de cadera ya que podría significar un mayor alargamiento de la unión miotendinosa, así como del vientre, pudiendo llegar a generar una capacidad de absorción de energía mayor y por tanto una fuerza más alta.

Por otro lado, Askling et al. (2014) sugieren que el tiempo de recuperación para los velocistas es mucho más prologado que el de los futbolistas debido a que necesitan una funcionalidad máxima ya que la demanda de esa musculatura es siempre el 100%. Esto nos sugiere realizar futuras investigaciones comparando grupos de velocistas frente a futbolistas para ver si esta sugerencia es cierta y hasta donde se puede mejorar el RTP (*Return to Play*) o también llamado TRFT (*Time to Return to Full Training*) en los velocistas.

Otra dirección que puede tomar la futura investigación es usar dos protocolos de ejercicio excéntrico en los que uno de ellos si progrese en velocidad (m/s) y cargas (kg) mientras que otro solo progrese en cargas, manteniendo su velocidad de ejecución constante en los ejercicios. Esto ayudaría a afianzar la idea de (Tsaklis, et al., 2015) de que uno de los mejores factores de progresión es el aumento de velocidad de ejecución en los ejercicios, método que también fue utilizado en los protocolos de Askling et al. (2014) y Pollock, et al. (2022).

6. Conclusiones

Una vez realizada esta revisión podemos concluir que el entrenamiento excéntrico combinado con un ejercicio de progresión en carrera se demuestra como lo más efectivo para la recuperación tras una lesión isquiotibial en velocistas y como método preventivo para no caer en este tipo de lesiones que tanto condicionan al atleta. También es interesante introducir fases concéntricas-excéntricas en ejercicios como el NHE o "*Nordic Hamstring Exercise*" ya que expone a la estructura a un menor riesgo de lesión a la vez que mantiene los niveles de fuerza y exigencia del ejercicio para las estructuras. Tener claro que el aumento de la velocidad y de

las cargas sin presencia de dolor es la forma de sobrecarga progresiva más eficiente para la mejora del deportista en su recuperación.

Todo esto debe estar acompañado de un buen diagnóstico a ser posible con ayuda de Resonancia Magnética (RMN) para ser más precisos y poder realizar controles en la reparación del tejido a medida que el deportista avanza en las fases de recuperación. Por último, no olvidar la importancia de la comunicación entre profesionales (equipo médico, preparadores físicos y fisioterapeutas) y con el propio atleta para aumentar más aun la eficacia de los programas de recuperación diseñados para el deportista.

7. Bibliografía

- Otsuka, M., Isaka, T., Terada, M., Arimitsu, T., Kurihara, T., & Shinohara, Y. (2022). Associations of time to return to performance following acute posterior thigh injuries with running biomechanics, hamstring function, and structure in collegiate sprinters: A prospective cohort design. *Elsevier*.
- Malliaropoulos, N., Psyllakis, P., Tsitas, K., & Papalada, A. (2013). Conservative Treatment of Total Proximal Non-Avulsion, Hamstring Muscle-Rupture, in High Level Athletes. *Br J Sports Med*, 47.
- Nagano, Y., Higashihara, A., & Edama, M. (2015). Change in muscle thickness under contracting conditions following return to sports after a hamstring muscle strain injury - A pilot study. *Elsevier*, 63-67.
- Malliaropoulos, N. G. (2012). Non contact Hamstring injuries in sports. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 2 (4): 309-311.
- Pollock, N., Kelly, S., Lee, J., Stone, B., Giakoumis, M., Polglass, G., . . . MacDonald, B. (2022). A 4-year study of hamstring injury outcomes in elite track and field using the British Athletics rehabilitation approach. *British Journal of Sports Medicine*, 56: 257-263.
- Martin, R. L., Bolgla, L. A., Jr, T. A., Loudon, J. K., Manske, R. C., Chistoforetti, J. J., . . . Heiderscheit, B. C. (2022). Hamstring Strain Injury in Athletes. *Journal of Orthopedic & Sports Physical Therapy*, 52-55.
- Asking, C. M., Tarassova, O., Thorstensson, A., & Tengvar, M. (2014). Acute hamstring injuries in Swedish elite sprinters and jumpers: a prospective randomised controlled clinical trial comparing two rehabilitation protocols. *British Journal of Sports Medicine*, 48: 532-539.
- Augustsson, J., Alt, T., & Andersson, H. (2023). Speed Matters in Nordic Hamstring Exercise: Higher Peak Knee Flexor Force during Fast Stretch-Shortening Variant Compared to Standard Slow Eccentric Execution in Elite Athletes. *Sports*, 11 (7), 130.
- Augustsson, J., & Andersson, H. (2023). Differences in. Peak Knee Flexor Force between Eccentric-Only and Combined Eccentric-Concentric Nordic Hamstring Exercise. *Sports*, 11-41.

- De Hoyo, M., Naranjo-Orellana, J., Carrasco, L., Sañudo, B., Jimenez-Barroca, J. J., & Dominguez-Cobo, S. (2013). Revisión sobre la lesión de la musculatura isquiotibial en el deporte: factores de riesgo y estrategias para su prevención. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 6(1):28-35.
- Scarfo, R. L. (2000). Lesiones musculares: distensiones de los Isquiotibiales. *Revista Digital - Buenos Aires* , 25.
- Liu, H. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *Journal of Sport & Health Science*, 1(2), 92-101.
- Schache, A. G., Wrigley, T. V., Baker, R., & Pandy, M. G. (2009). Biomechanical response to hamstring muscle strain injury. *Gait and posture*, 332-338.
- Schache, A. G., Hyung-Joo, K., Morgan, D. L., & Pandy, M. G. (2010). Hamstring muscle forces prior to and immediately following an acute sprinting-related muscle strain injury. *Gait and posture*, 136-140.
- Orchard, J. W. (2011). Hamstrings are most susceptible to injury during the early stance phase of sprinting. *British journal of sports medicine*, 88-89.
- Yu, L., Yuliang, S., Wenfei, Z., & Jiabin, Y. (2017). The late swing and early stance of sprinting are most hazardous for hamstring injuries. *Journal of sport and health science*, 133-136.
- Kenneally-Dabrowsky, C. J., Brown, N. A., Lai, A. K., Perriman, D., Spratford, W., & Serpell, B. G. (2019). Late swing or early stance? A narrative review of hamstring injury mechanisms during high-speed running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(8):1083-1091.
- Heiderscheit, B. C., Hoerth, D. M., Chumanov, E. S., Swanson, S. C., Thelen, B. J., & Thelen, D. G. (2005). Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: A case study. *Clinical Biomechanics*, 1072-1078.
- Lehnert, M., De Ste Croix, M., Xaverova, Z., Botek, M., Varekova, R., Zaatar, A., . . . Stastny, P. (2018). Changes in Injury Risk Mechanisms after Soccer-Specific Fatigue in Male Youth Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 13:62:33-42.

Slider, A., Reeder, S., & Thelen, D. (2010). The influence of prior hamstring injury on lengthening muscle tissue mechanics. *Journal of Biomechanics*, 43:2254-2250.

Tsaklis, P., Malliaropoulos, N., Mendiguchia, J., Korakakis, V., Tsapralis, K., Pyne, D., & Malliaras, P. (2015). Muscle and intensity based hamstring exercise classification in elite female track and field athletes: implications for exercise selection during rehabilitation. *Dovepress*, 209-217.

Sanfilippo, J. L., Silder, A., Sherry, M. A., Tuite, M. J., & Heiderscheit, B. C. (2013). Hamstring strength and morphology progression after return to sport from injury. *Medicine & Science Sports Exercise*, 45(3):448-54.

8. Anexos

8.1 Cuadro resumen de artículos seleccionados

Tabla 1. Resumen de los artículos seleccionados

Autores y año	Tipo de artículo	Objetivo/s	Población	Variables	Resultados
(Augustsson, Speed Matters in Nordic Hamstring Exercise: Higher Peak Knee Flexor Force during Fast Stretch-Shortening Variant Compared to Standard Slow Eccentric Execution in Elite Athletes, 2023)	Artículo experimental original	Comparar un ciclo de estiramiento-acortamiento rápido con la contracción excéntrica lenta en un Nordic Hamstring Exercise (NHE) o Curl Nórdico.	22 atletas profesionales (todos en etapa de competiciones nacionales e internacionales). 10 mujeres, 7 hombres y 5 atletas y futbolistas masculinos de entre 17 y 31 años.	<ul style="list-style-type: none"> • Excéntrico lento. • Ciclo estiramiento-acortamiento rápido. • Velocidad excéntrica (Encoder). • Máximo flexión de rodilla bilateral (%). 	El ciclo rápido de estiramiento-acortamiento contribuía a mejorar el NHE siendo el rango máximo de flexión de rodilla bilateral un 13% mejor comparado con el excéntrico lento. Este ciclo, puede considerarse como una alternativa al excéntrico lento en NHS ya que ofrece ventajas potenciales para el sprint y así como para recuperar y rehabilitar una lesión isquiotibial.
(Augustsson & Andersson, Differences in Peak Knee Flexor Force between Eccentric-Only and Combined Eccentric-Concentric Nordic Hamstring Exercise, 2023)	Artículo experimental original	Investigar las diferencias en la flexión máxima de rodilla entre el uso de un Curl Nórdico únicamente excéntrico y otro que combine tanto la contracción excéntrica como la concéntrica. Además, el objetivo también consistía en determinar la correlación fuerza isquiotibial medida en el tobillo usando una célula de carga.	15 junior y senior deportistas de atletismo y fútbol (3 mujeres y 12 hombres de edad entre 17 y 27 años).	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza evaluada desde el tobillo. • Fuerza evaluada desde la rodilla. • Máxima flexión de tobillo. • Máxima flexión de rodilla. • ENHE (Curl Nórdico Excéntrico). • ECNHE (Curl Nórdico Excéntrico-Concéntrico). 	La fuerza evaluada desde el tobillo difirió significativamente mientras la misma medida desde la articulación de la rodilla no lo hizo, entre sólo contracción excéntrica y contracción tanto excéntrica como concéntrica. La distancia alcanzada en el excéntrico fue un 37% mayor que en el otro grupo.

Autores y año	Tipo de artículo	Objetivo/s	Población	Variables	Resultados
(Askling, Tarassova, Thorstensson, & Tengvar, 2014)	Artículo experimental original	Comparar la efectividad de dos protocolos de rehabilitación tras una lesión isquiotibial. Un programa da prioridad a los ejercicios convencionales y otro a los ejercicios en estiramiento/trabajo excéntrico.	56 velocistas y saltadores de élite con lesión isquiotibial verificada con RMN	<ul style="list-style-type: none"> • Número de días hasta la vuelta completa a la actividad. • Número de recidivas 12 meses después de la vuelta a la actividad 	<p>El protocolo de ejercicios en estiramiento demostró una vuelta a la actividad más temprana que el protocolo convencional (49 días de media frente a 86).</p> <p>Solo se dieron 2 recidivas y fueron en el grupo convencional.</p>
(Nagano, Higashihara, & Edama, 2015)	Artículo experimental original	Evaluar la función muscular tras una distensión midiendo el cambio en el grosor del isquiotibial entre las condiciones de contracción y relajación después del RTP.	6 velocistas masculinos cuyos isquiotibiales sufrieron lesión que les supusiera dejar el deporte un mínimo de 2 semanas.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del grosor y calidad muscular mediante ecografía • Contracción isométrica máxima en máquina isocinética. 	<p>Aumento del grosor de la porción larga del bíceps femoral y del semitendinoso en el lado no afecto con la contracción, mientras que el lado afecto no mostró un aumento significativo. El grosor de la porción proximal del semitendinoso aumentó con la contracción en ambos miembros. Por el contrario, la porción proximal del bíceps femoral no mostró un aumento significativo en los dos lados.</p> <p>Los resultados de este estudio muestran que la evaluación del grosor muscular durante la contracción puede ser útil para evaluar el cambio en la función muscular después de una distensión isquiotibial.</p>

Autores y año	Tipo de artículo	Objetivo/s	Población	Variables	Resultados
(Otsuka, et al., 2022)	Artículo experimental. original	Examinar la asociación entre el tiempo de RTP y los déficits biomecánicos de la carrera, de función y estructura muscular en lesiones isquiotibiales en sprinters universitarios.	72 sprinters de los cuales 59 no padecieron lesión isquiotibial durante la temporada y 12 participantes que sí (1 excluido por recidiva).	<ul style="list-style-type: none"> • Déficit de los parámetros biomecánicos durante la carrera (VD). • Déficit de la función isquiotibial (VD). • Morfología isquiotibial alterada (VD). • Tiempo de RTP (VD) • Lesión isquiotibial (VI). 	Se relacionó el RTP con los parámetros (velocidad de carrera, cinéticos y cinemáticos) medidos en el test específico de 60m. Todos decrecieron post-lesión excepto el pico negativo de potencia de cadera. Se estableció una asociación significativa entre el tiempo de RTP y los parámetros de función y estructura muscular obtenidos mediante RMN del <i>Passive Straight Leg Raise e Isometric Knee Flexion Strength Test</i> .
(Pollock, et al., 2022)	Artículo experimental original	Examinar el diagnóstico y posterior recuperación de lesión isquiotibial en atletas de élite de atletismo, siguiendo el " <i>British Athletics hamstring rehabilitation Approach</i> ".	46 atletas (24 mujeres y 22 hombres) de entre 24 y 28 años entre los que hubo 70 lesiones isquiotibiales durante 4 años de seguimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de vuelta a la actividad completa (nº de días) llamado <i>TRFT (Time to Return to Full Training)</i> • Porcentaje de recidiva • Mecanismos de lesión y localización/estructuras dañadas 	Se observó una reducción del tiempo de vuelta a la actividad completa utilizando la clasificación y programa de recuperación de la <i>BAMIC (British Athletics Muscle Injury Classification)</i> y el programa de recuperación adjunto.
(Tsaklis, et al., 2015)	Artículo experimental original	Investigar las diferencias en activación muscular de los isquiotibiales durante ejercicios comunes en los programas de rehabilitación.	20 mujeres atletas de élite (10 ejercicios en total cada una)	<ul style="list-style-type: none"> • Activación EMG de los isquiotibiales durante una contracción isométrica máxima. 	Las zancadas, peso muerto y kettle swings mostraron mayor activación del semitendinoso sobre el bíceps femoral. El puente glúteo en fitball y el <i>single leg slide</i> fueron los ejercicios con mayor activación isquiotibial.

8.2 Figuras



Figura 4. Resumen de la British Hamstring injury classification y su programa de readaptación (Pollock, et al., 2022)



Figura 5. Programa Lengthening (ejercicio 1: el extensor) (Askling, et al., 2014)



Figura 6. Programa Lengthening (ejercicio 2: el buceador) (Askling, et al., 2014)



Figura 7. Programa Lengthening (ejercicio 3: el planeador) (Askling, et al., 2014)



Figura 8. Programa Conventional (ejercicio 1: estiramiento contracción-relajación) (Askling, et al., 2014)



Figura 9. Programa Conventional (ejercicio 2: péndulo en polea) (Askling, et al., 2014)



Figura 10. Programa Conventional (ejercicio 3: puente) (Askling, et al., 2014)

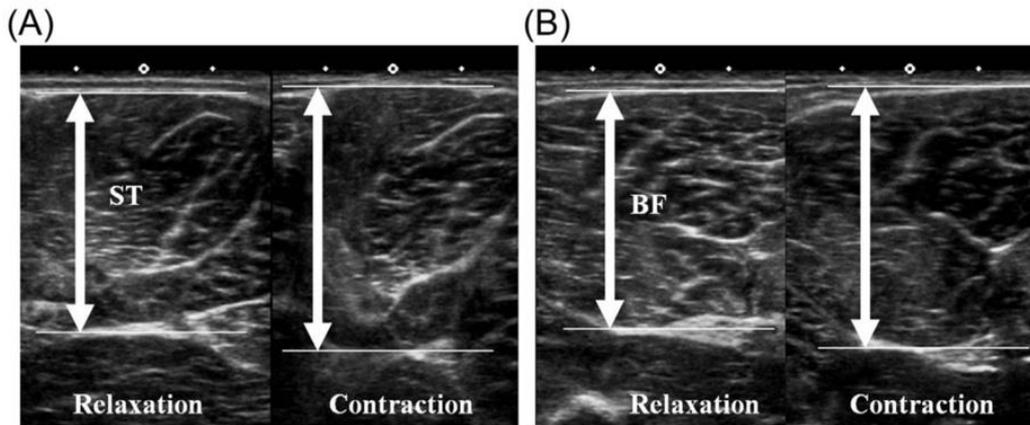


Figura 11. Ultrasonografía durante contracción isométrica de los músculos semitendinoso (ST) y bíceps femoral (BF) (Nagano, et. al., 2015)

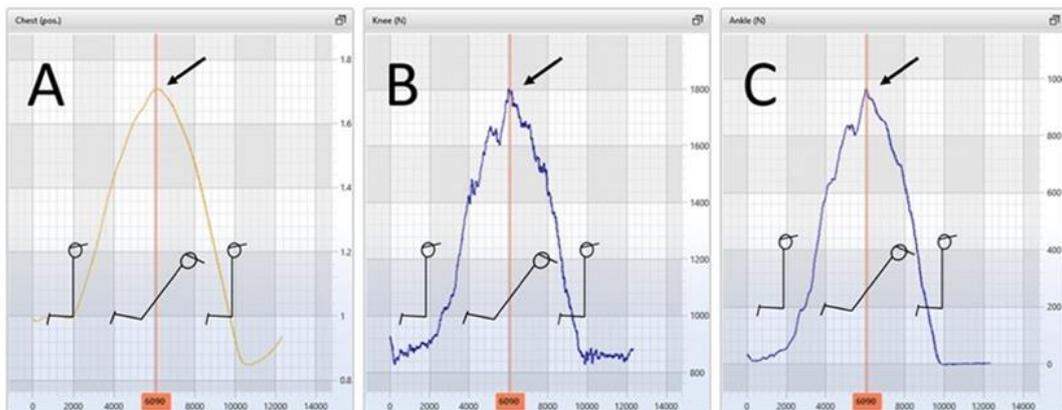


Figura 12. Gráfico de la fuerza ejercida durante el Nordic Hamstring Exercise (NHE) medida desde pecho-torso (A), rodilla (B) y tobillo (C) (Augustsson & Andersson, 2023)

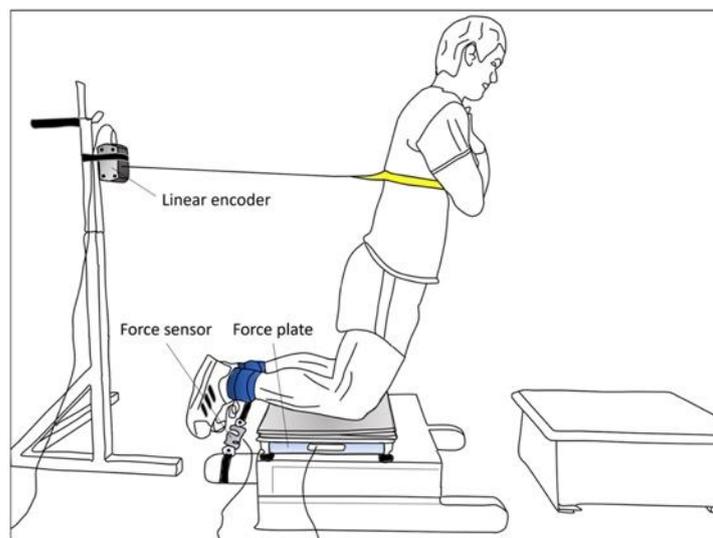


Figura 13. Imagen del aparato NordBord Device con cada una de las partes que lo forman (Augustsson & Andersson, 2023)



Figura 14. Imagen del NordBord Device (Augustsson, Alt, & Andersson, 2023)

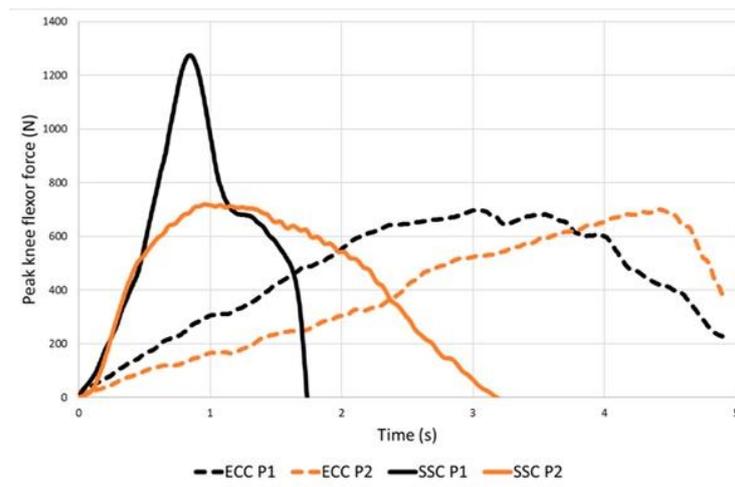


Figura 15. Gráfica entre la fuerza máxima de flexión de rodilla y el tiempo del Participante 1 (negro) y 2 (naranja) (Augustsson, Alt, & Andersson, 2023)

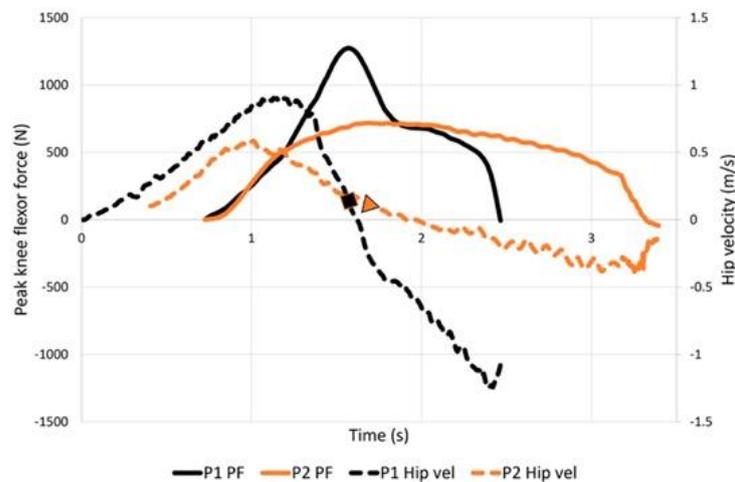


Figura 16. Gráfica entre la fuerza máxima de flexión de rodilla, el tiempo y la velocidad del Participante 1 (negro) y 2 (naranja) (Augustsson, Alt, & Andersson, 2023)



Figura 17. Ejercicio Nórdico o “nordic curl” o “nordic hamstring exercise” (Tsaklis, et al., 2015)

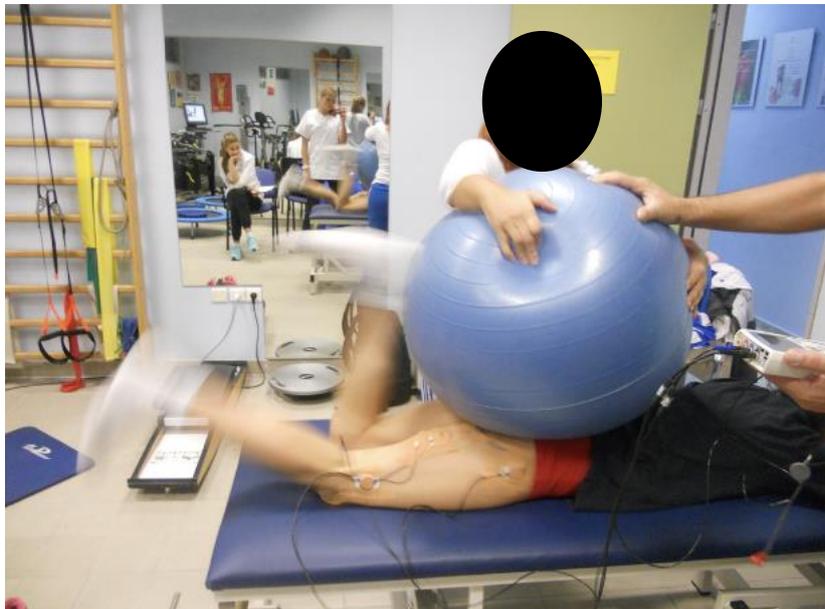


Figura 18. Ejercicio flexión en fitball (Tsaklis, et al., 2015)



Figura 19. Ejercicio slide-leg (Tsaklis, et al., 2015)