

Physical Activity and Health

Análisis Bayesiano de los Principales Factores de Riesgo de Lesión de la Musculatura Isquiosural

A Bayesian Analysis of the Main Risk Factors for Hamstrings Injuries

Ayala Rodríguez, Francisco.¹, Puerta Callejón, José Miguel.², Flores Gallego, María Julia.², García Vaquero, María del Pilar.³, Ruíz Pérez, Ignacio.³, Caldearon López, Ana.³, Parra Sánchez, Sergio.³, López Plaza, Diego.³, López Valenciano, Alejandro.³

¹Centro de Investigación del Deporte, Universidad Miguel Hernández de Elche (Alicante, España). ISEN, centro afiliado a la Universidad de Murcia (Murcia, España)

²Escuela Superior de Ingeniería Informática, Universidad de Castilla la Mancha (Albacete, España)

³Centro de Investigación del Deporte, Universidad Miguel Hernández de Elche (Alicante, España)

Dirección de contacto: Franciscoayalarodriguez@gmail.com

Francisco Ayala Rodríguez

Fecha de recepción: 15 de Diciembre de 2015

Fecha de aceptación: 13 de Mayo de 2016

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los participantes en el estudio, el cuál se llevó a cabo gracias a la ayuda económica recibida por la Escuela Universitaria Real Madrid - Universidad Europea de Madrid (Ref.: 2014/UEM1.14)

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue investigar las relaciones existentes entre los principales factores de riesgo propuestos a la hora de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural en deportistas. Se registraron todos los casos de lesiones de la musculatura isquiosural sufridas por los participantes el año deportivo anterior. Además, todos los participantes fueron evaluados en sesión única de factores de riesgo personales, psicológicos y biomecánicos relacionados con la lesión de la musculatura isquiosural. Las relaciones de dependencia e independencia probabilística de las variables evaluadas fueron establecidas mediante una red Bayesiana. Posteriormente, se modificaron hipotéticamente los valores de probabilidad de algunas variables dependientes en la red Bayesiana para analizar la variación sobre las probabilidades de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural. Los resultados otorgan un papel protagonista a los factores de riesgo modificables y de corte biológico, destacando el rango de movimiento y el perfil de fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla, el ratio de fuerza isométrica unilateral de la abducción y aducción de cadera junto con la estabilidad dinámica del tronco y de la extremidad inferior durante desplazamientos antero-posteriores. La edad y posición en el campo del deportista también fueron variables de primer nivel.

Palabras Clave: desordenes por acumulación de traumatismos, teorema de Bayes, lesiones deportivas, análisis multivariante

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the relationships among the main injury risk factors suggested for hamstrings strains through a Bayesian Network in athletes. All the hamstrings injuries sustained in the previous competitive year by the participants were recorded. In addition, all participants were assessed of the potential personal, psychological and biomechanical injury risk factors for hamstring strains in a single session. Probabilistic relationships of dependence and independence of the variables were studied by a Bayesian Network. After, we instantiated hypothetical probability values of several assessed variables in order to analyse the variation of the probability of sustain a hamstrings injury. The results confirm a key role of modifiable and biological injury factors in leading to hamstrings injury, highlighting the range of motion and isokinetic strength profile of the knee, the isometric unilateral strength ratio between of the hip abduction and adduction movements, as well as the core and lower extremities dynamic stability during anterior-posterior movements. Both the age and player' positions were also suggested as key injury risk factors for hamstrings injuries.

Keywords: cumulative trauma disorders, Bayes theorem, athletic injuries, multivariate analysis

INTRODUCCIÓN

La rotura de fibras de la musculatura isquiosural es una de las lesiones que presentan mayor prevalencia en deportes donde se requiere de un gran número de acciones de sprint y rápidos cambios de dirección y sentido (Hootman, Dick & Agel, 2007). Así, estudios epidemiológicos informan de que únicamente las lesiones de la musculatura isquiosural ya suponen entre el 6% y 30% de todas las lesiones registradas en el fútbol (Ekstrand, Hägglund & Waldén, 2011), baloncesto (Meeuwisse, Sellmer & Hagel, 2003), voleibol (Verhagen, Van der Beek, Bouter, Bahr & van Mechelen, 2004) y rugby (Brooks, Fuller, Kemp & Reddin, 2005).

La frustración con este tipo de lesiones no se explica exclusivamente por su elevada prevalencia, sino también por la prolongada duración de sus síntomas (presentan una media de 22 días de baja deportiva), la dificultad a la hora de recuperar su funcionalidad normal y por sus elevadas tasas de recaída (oscilan entre el 12-48% de todos los casos) (Liu, Garrett, Moorman & Yu, 2012; Noya & Sillero, 2012). Además, actualmente existe una gran preocupación por el hecho de que las tasas de prevalencia y recaídas de esta lesión deportiva no se han reducido en las últimas tres décadas a pesar de los grandes esfuerzos científicos y económicos llevados a cabo (Ekstrand et al., 2011).

Dada la gran magnitud de este problema, parece justificada la necesidad de desarrollar medidas preventivas destinadas a evitar y/o reducir el número y el impacto que las lesiones de la musculatura isquiosural poseen en el mundo del deporte. Sin embargo, para poder diseñar medidas preventivas eficaces es fundamental conocer y entender que factores de riesgo o potencialmente causantes de lesión favorecen que un deportista se encuentre en una situación de mayor vulnerabilidad para sufrir una lesión de la musculatura isquiosural (van Mechelen, Hlobil & Kemper, 1992).

En este sentido, en los últimos años son numerosos los estudios de revisión y meta-análisis han tratado de identificar los factores (personales, psicológicos y biomecánicos) influyen en el riesgo de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural (de Visser, Reijman, Heijboer & Bos, 2012; Freckleton & Pizzari, 2012; Olmedilla, Ortega, Abenza & Boladeras, 2011; Opar, Williams & Shield, 2012). Muchos de estos estudios concluyen que es difícil definir con rotundidad factores que potencialmente predispongan a un deportista a sufrir una lesión de la musculatura isquiosural, debido principalmente al escaso número de estudios de calidad y a los resultados controvertidos que en muchos casos existen entre ellos (Freckleton & Pizzari, 2012; Liu et al., 2012).

Esta gran laguna de conocimiento en lo relativo a qué factores de riesgo predisponen a un deportista a sufrir una lesión de la musculatura isquiosural podría deberse, en gran medida, al paradigma reduccionista que impera en la actualidad (Mendiguchia, Alentorn-Geli & Brughelli, 2012). Hasta la fecha, en el ámbito de las Ciencias del Deporte se ha asumido un punto de vista reduccionista a la hora de estudiar los factores que podrían estar relacionados con el aumento del riesgo de sufrir una lesión deportiva (Quatman, Quatman & Hewett, 2009). Esta visión, basada en un modelo unidireccional de causa

y efecto, concibe el fenómeno de la lesión deportiva como la suma de muchos factores. Así, si se analiza la literatura científica existente es posible observar como los diferentes estudios han investigado de forma analítica la contribución individual de uno o varios factores de riesgo sobre el fenómeno global de la lesión deportiva (Engebretsen, Myklebust, Holme, Engebretsen & Bahr, 2010).

Sin embargo, este paradigma no considera la posibilidad de que los diferentes factores que pueden estar involucrados en la probabilidad de sufrir una lesión deportiva podrían interactuar multidireccionalmente entre sí, ni tampoco la idea de que dichos factores no sean homogéneos, e incluso que su efecto global sea más que la suma analítica de sus partes (Mendiguchia et al., 2012).

Por lo tanto, el estudio de los factores potencialmente causantes de lesión de la musculatura isquiosural mediante un enfoque basado en relaciones de dependencia y de independencia condicionada de variables dentro de un contexto multivariante y dinámico podría arrojar luz dentro de esta grave problemática que subyace en las Ciencias del Deporte, y permitir con ello el diseño de programas preventivos mucho más eficaces.

Las Redes Bayesianas constituyen una modalidad de los modelos gráficos probabilísticos (Larrañaga & Moral, 2011), la cual permite representar la incerteza de las relaciones entre variables observadas para modelar el proceso de toma de decisiones bajo un determinado nivel de incertidumbre (Jensen & Nielsen, 2009). Así, el estudio de las relaciones causales de dependencia e independencia condicional existente entre los principales factores de riesgo a la hora de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural a través de una Red Bayesiana se presume como un avance hacia un paradigma más ecológico que permita entender mejor la dimensión de este problema y poder reducir la magnitud del mismo.

Por lo tanto, el objetivo principal del presente estudio fue investigar las relaciones de dependencia e independencia condicionada existentes entre los principales factores de riesgo (personales, psicológicos y biológicos) que han sido propuestos por la literatura científica a la hora de sufrir una rotura de fibras de la musculatura isquiosural a través de una Red Bayesiana en una muestra de deportistas de alto nivel a través de un diseño retrospectivo de cohorte.

MÉTODO

Participantes

Un total de 165 jugadores de élite de fútbol (86 hombres y 45 mujeres) y balonmano (34 hombres) completaron el presente estudio. Para ser calificados como jugadores de élite y poder participar en el presente estudio, los deportistas debían formar parte de las ligas profesionales de fútbol (1^o división [Liga BBVA], 2^o división A [Liga Adelante] y 2^o división B) y balonmano (ASOBAL) reconocidas por el Consejo Superior de Deportes de España (96 hombres y 15 mujeres) o participar en ligas no profesionales donde la carga de entrenamiento y competición fuese similar a las ligas profesionales, 4-5 sesiones de entrenamiento semanal de 1,5 horas cada una y una sesión competitiva el fin de semana (24 hombres y 30 mujeres).

Específicamente, los jugadores de fútbol fueron reclutados de un equipo que participaba en la 1^o división española (24 hombres), 5 equipos que competían en la 2^o división B española (62 hombres y 15 mujeres) y 2 equipos de 3^o división (30 mujeres). Los jugadores de balonmano fueron reclutados de un equipo de la primera división (10 hombres) y de 2 equipos de 3^o división (24 hombres).

Se seleccionaron jugadores/as de fútbol y balonmano porque ambos deportes presentan como características comunes la elevada densidad de sesiones de entrenamientos y competición semanal, así como la alta incidencia de acciones de salto y caída, sprint, cambios de dirección y sentido; circunstancias éstas propuestas como predisponentes para el desarrollo de lesiones de la musculatura isquiosural (Hoskins & Pollard, 2005).

Como criterios de exclusión se establecieron: (a) presentar alguna patología osteo-articular (ej.: meniscopatías, procesos artrósicos, fracturas) y/o músculo-tendinosa (ej.: desgarros musculares, contracturas, tendinopatías) que pudiese verse agravada por la realización de las diferentes pruebas exploratorias y (b) sufrir dolor muscular de aparición tardía (agujetas) en el momento de la valoración para evitar el efecto que el daño fibrilar presenta sobre la fuerza y flexibilidad muscular (Cejudo, Sainz de Baranda, Ayala & Santonja, 2015).

Antes de ser evaluados, todos los participantes fueron informados verbalmente y por escrito de los posibles riesgos y procedimientos del presente estudio. Posteriormente, todos ellos firmaron un consentimiento informado que fue aprobado por el Comité Ético y Científico en Investigación en Humanos de la Universidad Miguel Hernández de Elche (Alicante, España) de acuerdo a los principios establecidos en la Declaración de Helsinki.

Diseño

Para conseguir los objetivos del presente estudio se llevó a cabo un diseño de cohorte retrospectivo de 9 meses. En este sentido, se efectuó un registro detallado de toda la información relativa a las lesiones de la musculatura isquiosural que los participantes sufrieron durante todo el año deportivo 2013/2014.

Además, todos los participantes fueron evaluados en sesión única durante la fase no-competitiva (2^o-3^o semana de la pre-temporada) del año deportivo 2014/2015 de parámetros personales, psicológicos y biomecánicos que han sido propuestos como factores que potencialmente pueden elevar el riesgo o probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural.

Registro de lesiones

Los respectivos cuerpos médicos de los equipos profesionales de fútbol (6 equipos) y balonmano (1 equipo) registraron todas las lesiones de la musculatura isquiosural del año deportivo anterior. Para este fin, se definió lesión de la musculatura isquiosural como un desorden muscular indirecto y agudo de los isquiosurales con (lesión muscular estructurada) o sin (desorden muscular funcional) evidencia de desgarro muscular macroscópico (en ultrasonido o resonancia magnética) (Mueller-Wohlfahrt et al., 2012) que impide que el jugador participe de forma normal en al menos una sesión de entrenamiento o competición más allá del día de la lesión (Fuller et al., 2008). Así, los cuerpos médicos de cada equipo profesional aportaron para cada uno de sus jugadores que había sufrido una lesión de la musculatura isquiosural en el año competitivo anterior información relativa: (a) al tipo de lesión (desorden muscular funcional o lesión muscular estructurada); (b) acción que la produjo (sprint, cambio de dirección o sentido, golpeo de balón,...); (c) pierna (dominante o no dominante); (d) gravedad (leve [1-5 días], moderada [6-30 días], grave [1-3 meses], muy grave [> 3 meses]); (e) momento (entrenamiento o competición); (f) tratamiento (no, sí [fisioterapia, cirugía, fármacos]); (g) tiempo para estar al 100% (nº de días [tiempo transcurrido desde el inicio de la lesión hasta que el jugador recibe el alta deportiva emitida por el equipo de profesionales encargados de la recuperación físico-deportiva]); y (h) recidivas (no, sí [nº de veces]). Igualmente, y para ratificar la información obtenida del cuerpo médico, cada uno de los jugadores completó un cuestionario donde se registró la misma información anteriormente citada. Cuando se encontró alguna discrepancia entre los datos obtenidos por parte del equipo médico y del jugador (3 casos), se realizó una segunda entrevista conjunta para clarificar la situación. Por su parte, el registro de lesiones de la musculatura isquiosural de los jugadores/as de las ligas no profesionales se llevó a cabo únicamente mediante la cumplimentación individual del cuestionario de lesiones previas, dada la no existencia de cuerpo médico en estos equipos. Un miembro del equipo de investigación estuvo siempre presente durante la cumplimentación del cuestionario por parte de los jugadores a fin de resolver cualquier duda al respecto.

Evaluación de los factores de riesgo de lesión

La sesión de valoración a la que cada uno de los participantes fue sometido tuvo una duración total de aproximadamente 120 min. Esta sesión de valoración fue a su vez dividida en tres partes.

La primera parte estuvo destinada a la obtención de información relativa a factores personales mediante un cuestionario ad hoc. La segunda parte de la sesión estuvo orientada a la evaluación de las variables psicológicas asociadas a la calidad del sueño y burnout mediante la cumplimentación de cuestionarios previamente validados y ampliamente utilizados en el contexto de la prevención de lesiones (10 min). Por último, la tercera parte de la sesión se empleó en la valoración de los factores biomecánicos mediante pruebas de campo y laboratorio (100 min).

Factores de riesgo personales

El cuestionario ad hoc propuesto por Olmedilla, Laguna y Redondo (2011) fue utilizado para el registro de las principales variables personales que han sido asociadas con un elevado riesgo de lesión de la musculatura isquiosural. Con este cuestionario se obtuvieron datos de tipo demográfico (edad, sexo, deporte, años de práctica deportiva, nivel de rendimiento en la temporada anterior y pierna dominante) y antropométrico (masa corporal, estatura, índice de masa corporal).

Factores de riesgo psicológicos

Se emplearon dos cuestionarios con respuesta tipo Likert para medir la calidad del sueño y burnout de cada uno de los deportistas.

En este sentido, y para medir la calidad de sueño de los jugadores de fútbol y balonmano se empleó la escala de sueño *Karolinska Sleep Diary* de Akerstedt, Hume, Minors, y Waterhouse, (1994) en su versión española. El resultado final del diario fue la media de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los 7 ítems.

Además, se utilizó la versión española del *Athlete Burnout Questionnaire* desarrollada por Arce, de Francisco, Andrade, Secane & Raedeke (2012) para medir tres componentes del burnout en deportistas: (a) agotamiento físico/emocional; (b) reducida sensación de logro; y (c) devaluación de la práctica deportiva. Específicamente, este cuestionario se compone de 15 ítems repartidos de forma equitativa entre cada una de las tres dimensiones, con una escala Likert de 5 puntos para cada uno de ellos (1 = casi nunca; 2 = pocas veces; 3 = algunas veces; 4 = a menudo; 5 = casi siempre).

Factores biomecánicos

Previo a la valoración de los factores de riesgo biomecánicos, todos los participantes realizaron un calentamiento dinámico compuesto por ejercicios que simulaban movimientos propios de la práctica deportiva y de intensidad creciente. Concretamente, se utilizó la rutina de calentamiento dinámico propuesta por Taylor, Sheppard, Lee & Plummer (2009).

Una vez completado el proceso de calentamiento, se procedió a la evaluación de los factores biomecánicos modificables que han sido propuestos por los últimos trabajos de revisión de la literatura científica como potencialmente relacionados con las roturas de fibras de la musculatura isquiosural (Freckleton & Pizzari, 2012; Liu et al., 2012; Mendiguchia et al., 2012; Opar et al., 2012).

Aunque son muchos los factores de riesgo biomecánicos que fueron registrados, todos ellos fueron agrupados en 5 grandes bloques: (1) rango de movimiento articular; (2) estabilidad dinámica de la extremidad inferior; (3) estabilidad del tronco; (4) fuerza isométrica de la abducción y aducción de cadera con rodilla extendida; y (5) fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de rodilla.

Rango de movimiento articular

Se valoró el máximo rango de movimiento pasivo de los núcleos articulares de la cadera (flexión con rodilla extendida y flexionada, extensión con rodilla flexionada, abducción con rodilla flexionada y rotación interna y externa con rodilla flexionada), rodilla (flexión) y el tobillo (flexión dorsal con rodilla extendida y flexionada) de la pierna dominante y no dominante. Además se determinaron las ratios bilaterales (pierna dominante / pierna no dominante) de cada uno de los movimientos articulares evaluados.

Estas variables de rango de movimiento articular fueron registradas siguiendo la metodología descrita por Cejudo et al. (2015) (figura 1).

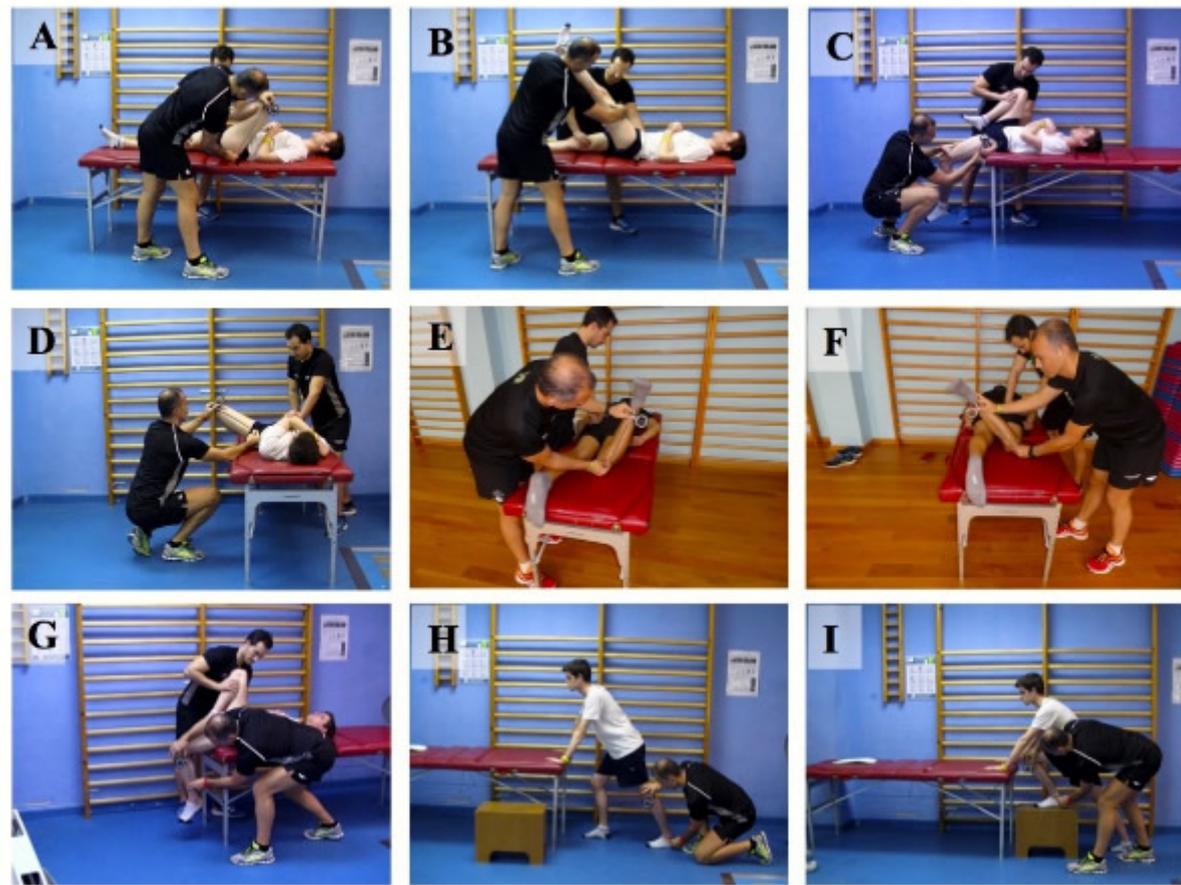


Figura 1. Pruebas exploratorias del rango de movimiento (ROM) de la cadera

Estabilidad del tronco

Para medir la estabilidad del tronco se utilizó el paradigma del asiento inestable y se siguió la metodología de evaluación descrita por López-Elvira et al. (2013) (figura 2). Así, y tras un periodo de familiarización con el asiento y el sistema de feedback visual, cada participante realizó 2 tipos de tests:

1. Tres test de estabilidad estática, donde el participante debía quedarse lo más quieto posible sobre una superficie estable o sobre el asiento inestable, primero sin feedback y luego con el feedback visual (intentando que su centro de presiones se ajustase al punto criterio).
2. Tres test de estabilidad dinámica, donde el participante sentado sobre el asiento inestable debía seguir con su centro de presiones diferentes trayectorias indicadas mediante el desplazamiento del punto criterio del sistema de feedback visual. Se realizó un test para cada una de las siguientes trayectorias: circular, antero-posterior, medio-lateral.

En conjunto, cada participante realizó seis test diferentes: prueba estática sobre superficie estable sin feedback (EESF); prueba estática en asiento inestable sin feedback (EISF); prueba estática en asiento inestable con feedback (EICF); prueba dinámica en asiento inestable con desplazamiento medial-lateral y feedback (DIHO); prueba dinámica en asiento inestable con desplazamiento anterior-posterior y feedback (DIVE); prueba dinámica en asiento inestable con desplazamiento circular y feedback (DICI). Cada participante realizó dos repeticiones de 70 s de cada una de las pruebas, con 2 min de descanso entre ellas.

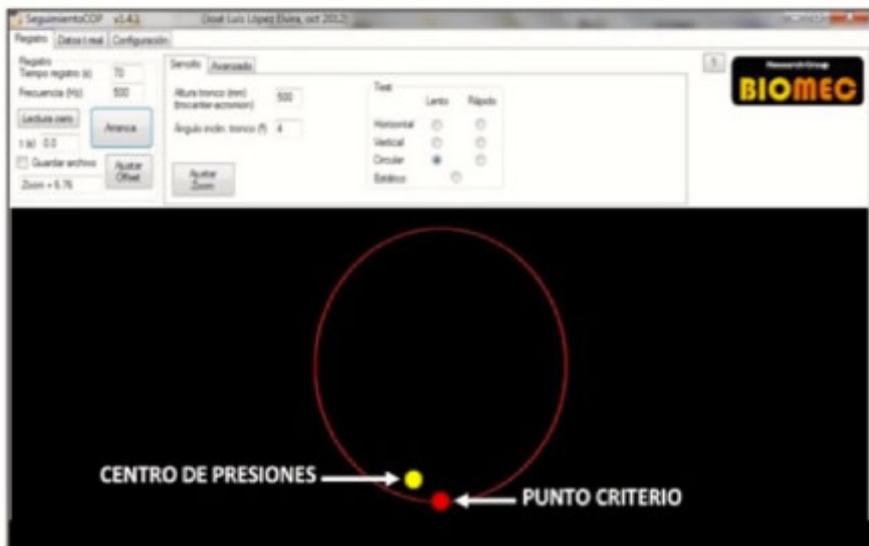
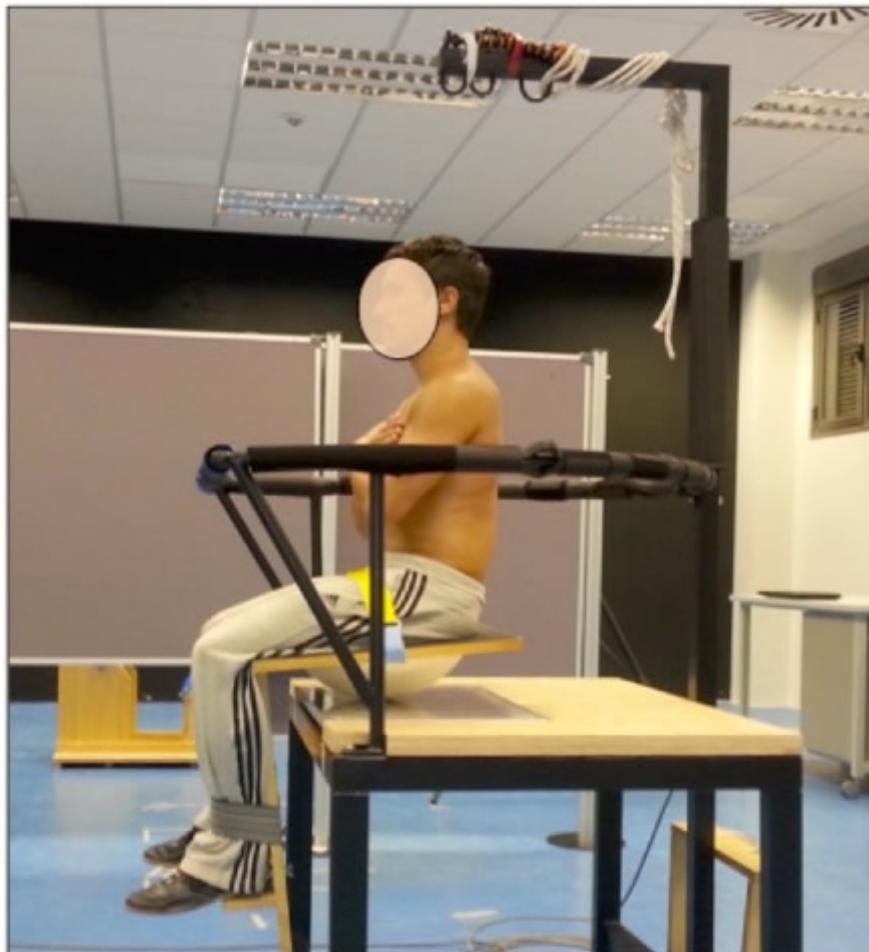


Figura 2. Vista lateral de un participante durante la ejecución de una prueba sobre asiento inestable

Estabilidad dinámica de la extremidad inferior

La prueba “Y Balance Test” fue utilizada para determinar la estabilidad dinámica global de la extremidad inferior de los participantes (Gribble, Hertel & Plisky, 2012). Para la puesta en marcha de esta prueba se siguió la metodología de evaluación propuesta por Gribble et al. (2012) (figura 3).



Figura 3. Y Balance test.

Previo a la realización de la prueba se instó a los participantes a practicar la misma mediante la realización de 4-6 intentos para cada una de las 3 direcciones y pierna con el propósito de minimizar la influencia del factor aprendizaje sobre los resultados obtenidos (Robinson & Gribble, 2008). Posteriormente, y tras un descanso de 2-3 minutos, se procedió a la evaluación de la extremidad inferior dominante mediante la realización de 3 intentos máximos para cada una de las 3 diferentes direcciones seleccionadas; anterior, posterolateral y posteromedial. Entre intentos consecutivos para cada dirección se permitió un descanso de 10 segundos, mientras que un periodo de descanso de un minuto fue establecido entre la evaluación de direcciones diferentes. Una vez finalizada la valoración de la estabilidad dinámica de la extremidad inferior dominante se procedió a realizar la valoración de la extremidad inferior no dominante siguiendo el mismo procedimiento exploratorio.

Para cada dirección (anterior, posterolateral y posteromedial), la media de los 3 intentos de cada extremidad fue utilizada para el posterior análisis estadístico. Sin embargo, cuando una diferencia mayor del 5% fue observada entre el valor de uno de los 3 intentos en comparación con otros dos restantes, se seleccionó el valor medio de los dos intentos con resultados más próximos para el posterior análisis estadístico.

Además, estos mismos valores fueron normalizados para cada uno de los participantes en función de su longitud de pierna ($[\text{distancia alcanzada}/\text{longitud de pierna}] \times 100$). La longitud de la pierna fue determinada como la distancia entre la espina iliaca antero-superior y la parte distal del maléolo medial del tobillo con el participante en posición de decúbito supino sobre una camilla. Estos valores normalizados fueron igualmente empleados para el cálculo de los índices bilaterales y el valor compuesto. Los índices bilaterales para cada una de las 3 direcciones fueron calculados dividiendo el valor normalizado de la extremidad inferior dominante entre la no dominante. Por su parte, el valor compuesto para cada extremidad fue determinado como la suma del valor normalizado obtenido en las 3 direcciones y su posterior división entre 3.

Fuerza isométrica de la abducción y aducción de cadera

La máxima fuerza isométrica unilateral de la abducción y aducción de cadera (dominante y no dominante) fue evaluada utilizando un dinamómetro manual (Lafayette Manual Muscle Testing System) con el participante en decúbito supino y la cadera en posición neutra (0° de flexión y abducción). El dinamómetro manual fue calibrado al comienzo de cada prueba y se siguió la metodología de evaluación propuesta por Thorborg, Petersen, Magnusson & Hölmich (2010).

Así, y tras un proceso de familiarización con la prueba, los participantes realizaron 4 máximas contracciones voluntarias isométricas (MVIC) de la abducción y aducción de cadera de forma alternativa y separadas entre sí por 30s de descanso (figura 4). Los participantes fueron verbalmente animados a presionar lo más fuerte posible el dinamómetro portátil mediante el empleo de palabras clave tales como “vamos, vamos, empuja, empuja, muy bien, relaja”. La media de los 3 valores más altos de MVIC para ambos movimientos fue seleccionada para el posterior análisis estadístico. Además, se calcularon los ratios bilateral de fuerza isométrica de la abducción y aducción de cadera mediante el cociente entre el valor seleccionado para el segmento dominante (numerador) y el no dominante (denominador).

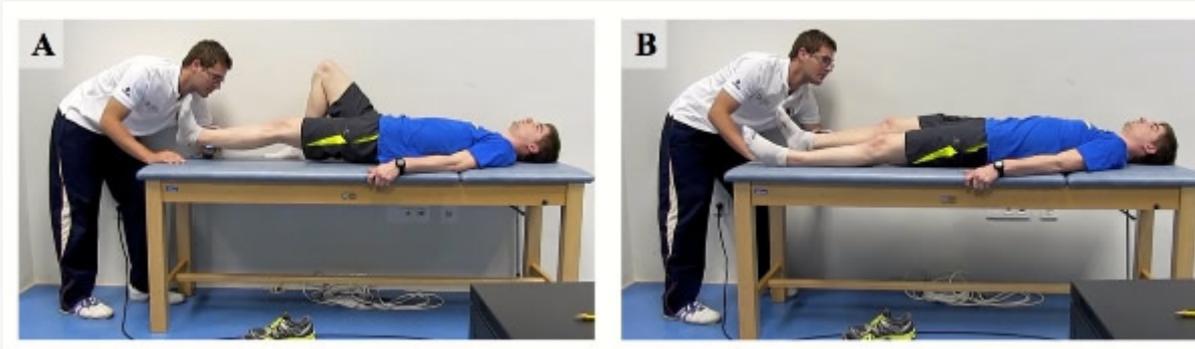


Figura 4. Test de fuerza isométrica de la aducción [A] y abducción [B] de cadera.

Fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de rodilla

Un dinamómetro isocinético Biodex System-4 (Biodex Corp., Shirley, NY, USA) y su correspondiente software informático fue empleado para determinar los momentos de fuerza concéntrica y excéntrica durante las acciones de flexión y extensión de rodilla de la pierna dominante y no dominante.

Todos los participantes adoptaron como posición de valoración la de decúbito supino sobre la camilla del dinamómetro con cadera fijada a 20-30° de flexión y cabeza en posición neutra (figura 5). El eje de rotación del brazo telescópico del dinamómetro fue estrictamente alineado con el epicóndilo lateral de la rodilla evaluada. El implemento donde ejercer la fuerza fue colocado aproximadamente a 3 cm del borde superior del maléolo medial del tobillo en posición relajada. La pelvis, parte posterior del muslo (próximo a la rodilla) y pie fueron fuertemente y consistentemente cinchadas para focalizar el movimiento únicamente en la flexión y extensión de rodilla. El rango de movimiento del proceso de valoración fue individualmente establecido entre 0° y 90° de flexión de rodilla activa.



Figura 5. Test de fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de rodilla.

La evaluación de la fuerza isocinética de la flexión y extensión de la rodilla dominante y no dominante fue dividida en dos partes. La primera parte del proceso exploratorio estuvo destinada a la evaluación simultánea y recíproca de la fuerza isocinética de la flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos de movimiento concéntricos/excéntricos. Así, cada

participante fue instado a realizar 2 ciclos de 3 movimientos de flexión y extensión de rodilla para cada una de las tres diferentes velocidades angulares seleccionadas, 60°/s, 180°/s y 240°/s. Previo a este protocolo de valoración, los participantes realizaron un calentamiento isocinético específico consistente en 2 ciclos concéntricos submáximos (50% del máximo esfuerzo percibido) y uno máximo de flexión y extensión de rodilla a 120°/s.

La segunda parte de la exploración estuvo destinada a la evaluación simultánea y recíproca de la fuerza de flexión y extensión de rodilla por medio de ciclos excéntricos/excéntricos. Cada participante debía de resistir los movimientos de flexión y extensión de rodilla (3 ciclos de una repetición) generados a 3 velocidades distintas (30°/s, 60°/s y 180°/s) lo más rápido y fuerte posible tras recibir una señal auditiva. Un calentamiento isocinético específico consistente en 2 ciclos excéntricos submáximos (50% del máximo esfuerzo percibido) y uno máximo de flexión y extensión de rodilla a 90°/s fue llevado a cabo antes del protocolo de valoración excéntrico.

Entre ciclos de movimientos consecutivos se permitió un descanso de 20 segundos, mientras que un periodo de descanso de 1-3 minutos fue establecido entre ambas partes del proceso exploratorio. En ambas partes del proceso exploratorio, los participantes serán verbalmente animados a empujar/ resistir lo más fuerte y rápido posible el brazo telescopio a lo largo de todo el rango de movimiento mediante palabras clave estandarizadas tales como “resiste”, “empuja”, “más rápido”,...

Una vez finalizada la valoración isocinética de los movimientos de flexión y extensión de la rodilla dominante se procedió a realizar la valoración de la rodilla no dominante siguiendo el mismo procedimiento exploratorio.

Cuatro valores de fuerza (corregidos de acuerdo a la gravedad) diferentes (pico de fuerza máximo generado durante la fase de velocidad constante y 3 valores de fuerza específicos de 3 posiciones angulares distintas [15°, 30° y 45° de flexión de rodilla]) fueron extraídos de cada uno de los ciclos para cada una de las velocidades durante las acciones de flexión y extensión concéntrica y excéntrica de la rodilla dominante y no dominante.

Para cada variable de fuerza isocinética, la media de los 3 valores más cercanos de cada uno de los intentos para cada velocidad fue utilizada para el posterior análisis estadístico. Estos mismos valores de las variables de fuerza (concéntrico y excéntrico) fueron empleados para el cálculo de los índices isocinéticos bilaterales y unilaterales (convencional, funcional y propuesta de Croisier et al. [2008]) siguiendo la metodología establecida por Aagaard, Simonsen, Magnusson, Larsson & Dyhre-Poulsen (1998), Brockett, Morgan & Proske (2004) y El-Ashker, Brian, Ayala & De Ste Croix (2015).

Análisis estadístico

Para obtener una Red Bayesiana es necesario determinar una estructura (definida por un gráfico acíclico dirigido [DAG]) y las probabilidades condicionales asignadas a cada nodo (variables) del DAG. En el DAG, las flechas son las relaciones de dependencia/independencia entre variables, mientras que la estructura general representa las relaciones causales y los aspectos generales de todas las distribuciones probabilísticas de los factores considerados.

Por lo tanto, construir una Red Bayesiana implica dos tareas: (1) obtención de la estructura, esto es, identificación de la topología de la Red Bayesiana, y (2) obtención de los parámetros, es decir la estimación de parámetros numéricos (probabilidades condicionales) dada una topología de la red. Para la obtención de la estructura y parámetros de la red se utilizó el paquete estadístico WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis, GNU-GPL).

La herramienta dispone de varios algoritmos implementados que permiten inferir una estructura de Red Bayesiana a partir de datos. A partir del algoritmo de Ascensión de Colinas, HC, iterado obtuvimos un modelo posible (figura 6). En el proceso no se forzó la creación de enlaces, ni tampoco su eliminación, así como tampoco se forzó ni prohibió ninguna dirección de influencia. Dado el elevado número de variables que fueron registradas ($n = 247$), tras realizar un ranking con SimmetricalUncertainty como medida la Red Bayesiana fue construida con las 30 variables más relevantes.

A partir de WEKA se obtuvo un modelo paramétrico Bayesiano, utilizando una distribución discreta para cada variable. Aunque WEKA permite observar la variación de cada variable de forma individual cuando se introduce evidencia, la red bayesiana se implementó usando el software SAMIAN (2013) a partir de la estructura y los parámetros obtenidos con el objetivo de poder observar la posible variación conjunta de todas las variables (López-Puga, 2012), tal como se puede observar en la figura 6.

Las Redes Bayesianas también pueden ser utilizadas para llevar a cabo simulaciones, es decir, para explicar o bien datos observados o bien datos hipotéticos, modificando los valores de los efectos, en lugar de las causas. En el presente estudio, y a partir de la Red Bayesiana que se presenta en la figura 6, se han llevado a cabo 3 simulaciones o predicciones, 2 de ellas con datos hipotéticos y una con datos reales. Para una mejor comprensión por parte del lector, las variables elegidas para ser simuladas se corresponden exclusivamente con los factores o variables que se encuentran en el primer nivel. En este sentido, en las primeras dos simulaciones, cada una de las variables seleccionadas ha sido llevada a su extremo (en valores cuantitativos o descriptivos) más negativo y más positivo según la evidencia científica existente para determinar si

la Red Bayesiana realmente le otorga una probabilidad de lesión muy alta o muy baja respectivamente. Estas dos simulaciones ayudaran a determinar la validez de constructo y contenido de la Red Bayesiana creada. Por otro lado, y como tercera simulación, se han utilizado los valores de un deportista que no formó parte de la muestra objeto de estudio, pero cuyos resultados en cada una de las pruebas fueron registrados y en el transcurso de los siguientes 4 meses tuvo un historial de 3 lesiones de la musculatura isquiosural de carácter grave (6-30 días de ausencia en el entrenamiento y/o competición). El objetivo de esta tercera simulación fue determinar si la Red Bayesiana podría haber sido capaz de dictar que la probabilidad de lesión del deportista anteriormente citado era alta o muy alta, y con ello determinar su validez predictiva.

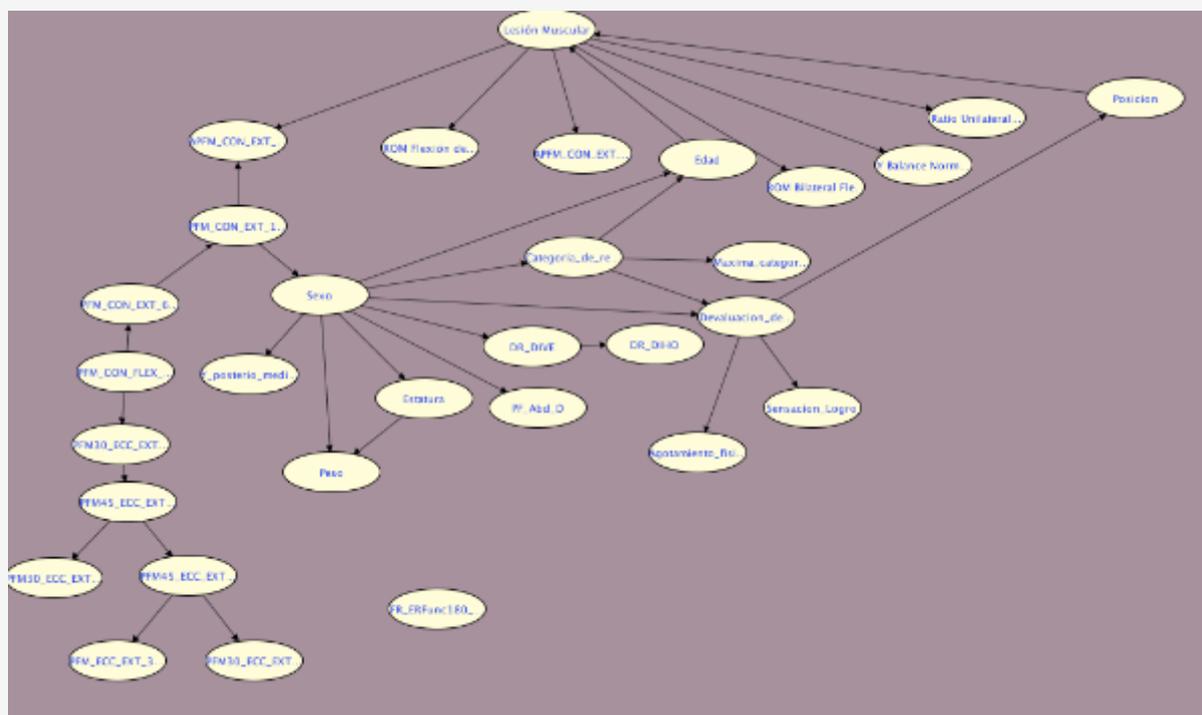


Figura 6. Red Bayesiana implementada en SAMIAN a partir de la estructura obtenida mediante el algoritmo Ascensión de Colinas, HC, iterado.

RESULTADOS

Un total de 58 casos de lesión de la musculatura isquiosural fueron registrados. Así, 31 de estos casos fueron categorizados como de grado de lesión “leve” (1-5 días), 28 como de grado de lesión “moderada” (6-30 días) y 4 como de grado de lesión “grave” o “muy grave” (>30 días). La distribución del número de lesiones de la musculatura isquiosural en función de la pierna dominante y no dominante mostró valores muy similares, con 22 y 35 casos respectivamente. Los casos categorizados como de grado de lesión leve fueron descartados, ya que el modelo no encontró un patrón estable, el cuál si fue determinado para el conjunto de lesiones de grado de lesión moderada a muy grave (32 casos).

Red Bayesiana

La Red Bayesiana obtenida, que se presenta en la Figura 6, muestra la existencia de 8 variables “padres” cuya influencia probabilista sobre la lesión es destacadamente relevante. Estas variables, que se encuentran en la parte alta del grafo, inciden directamente sobre la lesión de la musculatura isquiosural. De estas 8 variables que forman el primer nivel de incidencia, 6 de ellas pertenecen a factores de riesgo que han sido definidos como modificables con el entrenamiento físico-deportivo y psicológico. Específicamente, 3 variables están relacionadas con medidas de fuerza (el ángulo de producción de fuerza isocinética concéntrica de la extensión de rodilla dominante a 180º/s, el ángulo de producción de fuerza isocinética concéntrica de la extensión de rodilla no dominante a 60º/s y el ratio unilateral de fuerza de abducción y aducción de cadera), 2 con el rango de movimiento articular (el ratio bilateral de rango de movimiento de la flexión de

DISCUSIÓN

El presente estudio es el primero (desde el conocimiento de los autores) que ha aprendido una Red Bayesiana para abordar el fenómeno de la lesión de la musculatura isquiosural desde un enfoque dinámico y multivariante, basado en relaciones de dependencia e independencia condicionada de variables. Así, los resultados de este estudio aportan información relativa a qué factores de riesgo (personales, psicológicos y biomecánicos) presentan mayor impacto sobre la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural, además de representar gráficamente sus interacciones.

En este sentido, y desde una perspectiva global, la Red Bayesiana aprendida demuestra de forma evidenciada y con carácter retrospectivo la validez de los posicionamientos teóricos que ya advertían de que el riesgo de sufrir una lesión podría ser multifactorial, donde interactúan factores biológicos (personales y biomecánicos entre otros), psicológicos, sociales y ambientales (Bahr & Holme, 2003; Mendiguchia et al., 2012; Wiese-Bjornsta, 2009). Además, y con respecto a la lesión de la musculatura isquiosural, la Red Bayesiana otorga un papel protagonista a los factores de riesgo considerados como modificables y de corte biológico, pues representan 22 de las 30 variables más relevantes, ocupando además posiciones en los 3 niveles de incidencia fijados por el grafo. Así, se deberá prestar especial atención a la valoración del rango de movimiento y el perfil de fuerza isocinética (concéntrica y excéntrica) de la flexión y extensión de rodilla, fuerza isométrica de la abducción y aducción de cadera junto con la estabilidad dinámica del tronco y de la extremidad inferior durante desplazamientos antero-posteriores.

Los resultados de este estudio sugieren que un reducido rango de movimiento de la flexión de rodilla ($<137^\circ$ de flexión de rodilla) y/o un desequilibrio bilateral destacado ($>5\%$) en dicho movimiento deberían ser considerados factores de riesgo de primer nivel que incrementan la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural. En este sentido, y si consideramos la acción fisiológica, es posible determinar que este factor de riesgo (rango de movimiento de la flexión de rodilla) hace referencia en gran medida a la flexibilidad del músculo recto femoral del cuádriceps (Harvey, 1998). Estudios previos también han informado de un incremento en la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural cuando existe una reducida flexibilidad del recto femoral del cuádriceps (Gabbe, Finch, Bennell & Wajswelner, 2005; Witvrouw, Danneels, Asselman, D'Have & Cambier, 2003). El mecanismo por el cual una apropiada flexibilidad de la musculatura del recto femoral del cuádriceps podría proteger contra las lesiones de la musculatura isquiosural no está claro, pero ha sido sugerido que podría estar relacionado con la alteración de la biomecánica del sprint (Gabe et al., 2005). En ese sentido, Gabe et al. (2005) sugieren que una limitada flexibilidad del recto femoral podría aumentar el retroceso elástico pasivo del tendón de dicha musculatura, incrementando la aceleración de los movimientos de flexión de cadera y extensión de rodilla durante la fase de suspensión o vuelo del sprint (*late swing phase*), sobrecargando así a la musculatura isquiosural, pues es la encargada de frenar dichos movimientos mediante una contracción excéntrica, lo cual incrementa potencialmente la probabilidad de fallo y por tanto de lesión. Otra posible explicación podría estar relacionada con el hecho de que una restricción en la flexibilidad del recto femoral podría acarrear un incremento de la anteversión de la pelvis (Schache, Blanch & Murphy, 2000), lo que podría colocar a la musculatura isquiosural en una situación constante de mayor estiramiento y tensión (Sherry & Best, 2004), favoreciendo así su mal funcionamiento, sobrecarga y por tanto también su lesión (Woods, Hawkins, Maltby, Hulse, Thomas, Hodson, 2004)

Los hallazgos de este estudio igualmente advierten de un incremento en la probabilidad de lesión de la musculatura isquiosural en deportistas que presentan su ángulo óptimo de producción de fuerza en posiciones cerradas de la curva tensión-longitud ($>60^\circ$ de flexión de rodilla) y elevados valores de máxima fuerza de la flexión de rodilla concéntrica (cuádriceps), así como déficits de fuerza excéntrica de la extensión de rodilla (isquiosural), especialmente en ángulos abiertos ($<45^\circ$ de flexión de rodilla). En la actualidad, el uso de las variables de fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de rodilla para predecir lesiones de la musculatura isquiosural permanece aún bajo cierta controversia. En este sentido, ciertos estudios informan de correlaciones positivas entre valores altos de fuerza concéntrica (cuádriceps) y bajos de fuerza excéntrica (isquiosural) de la extensión de rodilla y lesiones de la musculatura isquiosural (Bennell et al., 1998; Cameron, Adams & Maher, 2003; Opar et al., 2014) en contraposición con otros que no encontraron ninguna asociación (Fousekis, Tsepis, Poulmedis, Athanasopoulos & Vagenas, 2010; Freckleton & Pizzari, 2013; Zvijac, Toriscelli, Merrick & Kiebzak, 2013). Quizás una posible explicación para esta inexactitud en la evidencia científica podría ser atribuida a la insuficiente validez ecológica de los procedimientos exploratorios llevados a cabo para evaluar la fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de rodilla. Así, todos los estudios que han examinado la relación entre la fuerza isocinética (concéntrica y excéntrica) de la flexión y extensión de rodilla sobre la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural han empleado procedimientos isocinéticos con los deportistas adoptando una posición de sentado (flexión de cadera $80-100^\circ$). Además, todos ellos han estudiado los valores de fuerza máxima procedentes de la fase de velocidad constante de la evaluación isocinética. Sin embargo, el presente estudio empleó un procedimiento exploratorio que presume de representar mejor la posición de la cadera (flexión de $10-20^\circ$) durante las acciones deportivas más comunes (sprint, cambios de dirección y sentido, saltos y caídas) y además simula con más precisión la relación tensión-longitud de los músculos extensores y flexores de rodilla durante la parte final de la fase de vuelo del sprint; la que

más sobrecarga la musculatura isquiosural, aumentando enormemente la probabilidad de lesión (Liu et al., 2012, Sun, Wei, Liu, Zhong, Fu & Li, 2014; Yu, Queen, Abbey, Liu, Moorman & Garrett, 2008). Además, el presente estudio también analizó los valores de fuerza presentes en los ángulos próximos a la extensión de rodilla (15, 30 y 45°), los que estudios previos han identificado como angulación de rodilla propia del mecanismo de la lesión de la musculatura isquiosural (Liu et al., 2012). Por lo tanto, el enfoque más ecológico del presente estudio podría ser una de las causas potenciales que permita explicar porque la Red Bayesiana creada dota de gran protagonismo a las variables de fuerza isocinética.

Además, los resultados de este estudio apoyan los posicionamientos teóricos vertidos por ciertos autores quienes consideran que existe una influencia de la estabilidad del core sobre la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural (Chumanov, Heiderscheit & Thelen, 2007; Thelen, Chumanov, Sherry & Heiderscheit, 2006). Así, se ha sugerido que una apropiada estabilidad lumbopélvica favorece la correcta distribución de fuerzas hacia la extremidad inferior (Mendiguchia et al., 2012). Además, en este estudio, la estabilidad dinámica de la extremidad inferior en el movimiento de desplazamiento anterior ha demostrado presentar una influencia clara en el riesgo de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural, al igual que estudios previos con respecto a otras patologías de la extremidad inferior (e.j.: inestabilidad crónica de tobillo y rodilla) (Gribble, Hertel, & Plisky, 2012).

Finalmente, y al igual que muchos estudios previos, la Red Bayesiana aprendida sitúa a los deportistas de mayor edad (> 25 años) (Arnason, Sigurdsson, Gudmundsson, Holme, Engebretsen & Bahr, 2004; Gabbe, Bennell & Finch, 2006; Gabbe, Bennell, Finch, Wajswelner & Orchard, 2006) y que juegan en posiciones con marcado carácter defensivo (defensas y centrocampistas) (Elliott, Zarins, Powell & Kenyon 2011) en una situación de mayor riesgo de lesión

A pesar de que este estudio es el primero en abordar el análisis del fenómeno lesional de la musculatura isquiosural empleando un enfoque multivariante y dinámico, ciertas limitaciones deben ser resaltadas. En primer lugar, aunque el tamaño muestral a priori podría ser considerado como aceptable (165 participantes), sin embargo para el análisis por Redes Bayesianas se antoja pequeño, ya que el número de variables analizadas (247) supera el número de casos. Además, los valores de referencia anteriormente citados deben de ser considerados con cautela, ya que la introducción en la red de conocimiento real (caso específico) puede alterar los mismos, dado el carácter dinámico del sistema. Así, un deportista que presente un limitado rango de movimiento de la flexión de rodilla (e.j. 116°) puede ver contrarrestada su carga de incidencia en el riesgo de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural si presenta un ángulo abierto (55° de flexión de rodilla) de producción de fuerza concéntrica de dicho movimiento. Finalmente, el diseño retrospectivo de 9 meses reduce la potencia de los resultados obtenidos. Por ello se recomienda la realización de estudios que combinen diseños retrospectivos y prospectivos de cohorte que permitan realizar Redes Bayesianas de mayor potencia y precisión.

APORTACIONES DIDÁCTICAS

Los hallazgos del presente estudio identifican de forma gráfica (diagrama de árbol jerárquico acíclico) y teórica los factores de riesgo que presentan un mayor impacto sobre la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural en deportistas. Además, se aporta información relativa a las relaciones causales y de independencia condicionada que existen entre los principales factores de riesgo personales, psicológicos y biomecánicos asociados con el aumento de la probabilidad de sufrir una lesión de la musculatura isquiosural. Así, los profesionales de la Medicina y Ciencias del Deporte deberán prestar especial atención hacia aquellos deportistas que presentan: (a) un reducido rango de movimiento de la flexión de rodilla y/o un desequilibrio bilateral de dicho movimiento; (b) ángulos de fuerza máxima cerrados (>60° de flexión de rodilla) y elevados valores de fuerza máxima de la flexión de rodilla concéntrica (cuádriceps), así como déficits de fuerza excéntrica de la extensión de rodilla (isquiosural), especialmente en ángulos abiertos (<45° de flexión de rodilla); así como (c) una deficiente estabilidad del core y extremidad inferior (especialmente en desplazamientos antero-posteriores); (d) una edad avanzada (>25 años) y (e) una posición en el campo de carácter defensivo. Por último, los resultados de este estudio aportan información relevante al diseño de programas de prevención de lesiones de la musculatura isquiosural, estableciendo 3 niveles de prioridad a la hora de modificar factores de riesgo biomecánicos y psicológicos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pruebas exploratorias del rango de movimiento (ROM) de la cadera (flexión con rodilla flexionada [A] y extendida [B], extensión con rodilla flexionada [C], abducción con rodilla flexionada [D] y rotación interna [E] y externa [F] con rodilla flexionada), rodilla (flexión [G]) y el tobillo (flexión dorsal con rodilla extendida [H] y flexionada [I])

Figura 2: Vista lateral de un participante durante la ejecución de una prueba sobre asiento inestable para la valoración del control postural del tronco en sedestación y software desarrollado por nuestro grupo de investigación para proporcionar a los participantes información visual del desplazamiento de su centro de presiones (coordenadas X e Y) en tiempo real.

Figura 3: Y Balance test.

Figura 4: Test de fuerza isométrica de la aducción [A] y abducción [B] de cadera.

Figura 5: Test de fuerza isocinética de los movimientos de flexión y extensión de rodilla.

Figura 6: Red Bayesiana implementada en SAMIAN a partir de la estructura obtenida mediante el algoritmo Ascensión de Colinas, HC, iterado. La Red Bayesiana muestra las relaciones probabilistas entre la lesión de la musculatura isquiosural y las 30 variables que mayor incidencia presentan sobre la misma.

Leyenda de variables 1º nivel: Ratio unilateral: ratio unilateral de fuerza isométrica de abducción y aducción de cadera; Y-Balance norm: distancia alcanzada normalizada en la dirección anterior de la prueba Y-BT, ROM Bilateral Flex: ratio bilateral de rango de movimiento de la flexión de rodilla; APFM_CON_EXT: ángulo de producción de fuerza isocinética concéntrica de la extensión de rodilla dominante a 180º/s; APFM_CON_EXT: ángulo de producción de fuerza isocinética concéntrica de la extensión de rodilla no dominante a 60º/s; ROM Flexión de: rango de movimiento de la flexión de rodilla.

Leyenda de variables 2º nivel: PFM_CON_EXT_1: pico de fuerza máxima isocinética concéntrica de la extensión de rodilla no dominante a 180º/s.

Leyenda de variables 3º nivel: Categoría de: categoría de rendimiento; DR_DIVE: desplazamiento anterior-posterior y feedback en test de asiento inestable; DR_DIHO: desplazamiento medial-lateral y feedback en test de asiento inestable; PF_Abd_D: pico de producción de fuerza isométrica de la abducción de cadera dominante; Y_Postero_media: distancia alcanzada en la dirección posteromedial de la prueba Y-BT; PM_CON_EXT_6: pico de fuerza máxima isocinética concéntrica de la extensión de rodilla no dominante a 60º/s; PM_CON_FLE: pico de fuerza máxima isocinética concéntrica de la flexión de rodilla no dominante a 60º/s; PFM30_ECC_EXT: pico de fuerza isocinética excéntrica a 30º (0º = rodilla extendida) de la extensión de rodilla no dominante a 60º/s; PFM45_ECC_EXT: pico de fuerza isocinética excéntrica a 45º (0º = rodilla extendida) de la extensión de rodilla no dominante a 60º/s; PFM30_ECC_EXT: pico de fuerza isocinética excéntrica a 30º (0º = rodilla extendida) de la extensión de rodilla no dominante a 180º/s; PFM45_ECC_EXT: pico de fuerza isocinética excéntrica a 45º (0º = rodilla extendida) de la extensión de rodilla no dominante a 30º/s; PFM30_ECC_EXT: pico de fuerza isocinética excéntrica a 30º (0º = rodilla extendida) de la extensión de rodilla no dominante a 30º/s; PFM_ECC_EXT_3: pico de fuerza máxima isocinética excéntrica de la extensión de rodilla no dominante a 30º/s.

Figura 7: Red Bayesiana donde las variables del primer nivel han sido simuladas con valores considerados como de alto riesgo para sufrir una lesión de la musculatura isquiosural. Véase la leyenda de la figura 6 para identificar la definición de cada acrónimo de las variables presentes en la actual figura.

Figura 8: Red Bayesiana donde las variables del primer nivel han sido simuladas con valores considerados como de bajo riesgo para sufrir una lesión de la musculatura isquiosural.

Figura 9: Red Bayesiana donde las variables del primer nivel han sido simuladas con valores procedentes de un jugador ajeno al presente estudio. Véase la leyenda de la figura 6 para identificar la definición de cada acrónimo de las variables presentes en la actual figura.

REFERENCIAS

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Magnusson, S. P., Larsson, B. & Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *American Journal of Sports Medicine*, 26(2), 231-237.
- Akerstedt, T., Hume, K., Minors, D. & Waterhouse, J.I.M. (1994). The subjective meaning of good sleep, an intraindividual approach using the Karolinska Sleep Diary. *Perceptual and Motor Skills*, 79(1), 287-296.
- Arce, C., De Francisco, C., Andrade, E., Seoane, G. & Raedeke, T. (2012). Adaptation of the Athlete Burnout Questionnaire in a Spanish Sample of Athletes. *Spanish Journal of Psychology*, 15(03), 1529-1536.
- Arnason, A., Sigurdsson, S.B., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2004). Risk factors for injuries in football. *American Journal of Sports Medicine*, 32(1 suppl), 5S-16S.
- Bahr, R. & Holme, I. (2003). Risk factors for sports injuries - a methodological approach. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 384-392.
- Bennell, K., Wajswelner, H., Lew, P., Schall-Riaucour, A., Leslie, S., Plant, D. & Cirone, J. (1998). Isokinetic strength testing does not

- predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *British Journal of Sports Medicine*, 32(4), 309-314.
- Brockett, C. L., Morgan, D. L. & Proske, U. (2004). Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(3), 379-87.
- Brooks, J. H., Fuller, C. W., Kemp, S. P. T. & Reddin, D. B. (2005). Epidemiology of injuries in English professional rugby union: part 2 training injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 39(10), 767-775.
- Cameron, M., Adams, R. & Maher, C. (2003). Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Physical Therapy in Sport*, 4(4), 159-166.
- Cejudo, A., de Baranda, P. S., Ayala, F. & Santonja, F. (2015). Test-retest reliability of seven common clinical tests for assessing lower extremity muscle flexibility in futsal and handball players. *Physical Therapy in Sport*, 16(2), 107-113.
- Chumanov, E. S., Heiderscheit, B.C. & Thelen, D. G. (2007). The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *Journal of Biomechanics*, 40(16), 3555-3562.
- Croisier, J.-L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M. & Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players a prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469-1475.
- De Visser, H.M., Reijman, M., Heijboer, M.P. & Bos, P.K. (2012). Risk factors of recurrent hamstring injuries: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 124-130.
- Ekstrand, J., Häggglund, M. & Waldén, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1226-1232.
- Elliott, M.C., Zarins, B., Powell, J. W. & Kenyon, C.D. (2011). Hamstring muscle strains in professional football players a 10-year review. *American Journal of Sports Medicine*, 39(4), 843-850.
- Engebretsen, A.H., Myklebust, G., Holme, I., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2010). Intrinsic Risk Factors for Hamstring Injuries Among Male Soccer Players A Prospective Cohort Study. *American Journal of Sports Medicine*, 38(6), 1147-1153.
- Fousekis, K., Tsepis, E., Poulmedis, P., Athanasopoulos, S. & Vagenas, G. (2010). Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: a prospective study of 100 professional players. *British Journal of Sports Medicine*, 45(9), 709-714.
- Freckleton, G. & Pizzari, T. (2013). Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 47(1), 351-358
- Fuller, C.W., Molloy, M.G., Bagate, C., Bahr, R., Brooks, J.H., Donson, H., ... & Wiley, P. (2007). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *British Journal of Sports Medicine*, 41(5), 328-331.
- Gabbe, B.J., Bennell, K.L. & Finch, C.F. (2006). Why are older Australian football players at greater risk of hamstring injury?. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 327-333.
- Gabbe, B.J., Bennell, K.L., Finch, C.F., Wajswelner, H. & Orchard, J. W. (2006). Predictors of hamstring injury at the elite level of Australian football. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 7-13.
- Gabbe, B.J., Finch, C.F., Bennell, K.L. & Wajswelner, H. (2005). Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football. *British Journal of Sports Medicine*, 39(2), 106-110.
- Gribble, P.A., Hertel, J. & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 339-357.
- Gribble, P.A., Hertel, J. & Plisky, P. (2012). Using the Star Excursion Balance Test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, 47(3), 339-357.
- Harvey, D. (1998). Assessment of the flexibility of elite athletes using the modified Thomas test. *British Journal of Sports Medicine*, 32(1), 68-70.
- Hootman, J. M., Dick, R. & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311.
- Hoskins, W. & Pollard, H. (2005). The management of hamstring injury—Part 1: Issues in diagnosis. *Manual Therapy*, 10(2), 96-107.
- Larrañaga, P. & Moral, S. (2011). Probabilistic graphical models in artificial intelligence. *Applied Soft Computing*, 11(2), 1511-1528.
- Liu, H., Garrett, W.E., Moorman, C.T. & Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *Journal of Sport and Health Science*, 1(2), 92-101.
- López Elvira, J. L., Barbado Murillo, D., Juan-Recio, C., García-Vaquero, M. P., López-Valenciano, A., López-Plaza, D., Montero-Carretero, C., Vera-García, F. J. (2013). Diferencias en la estabilización del tronco sobre un asiento inestable entre piragüistas, judocas y sujetos físicamente activos. *Revista Kronos*, 12(2), 63-72.
- Meeuwisse, W.H., Sellmer, R. & Hagel, B.E. (2003). Rates and risks of injury during intercollegiate basketball. *American Journal of Sports Medicine*, 31(3), 379-385.
- Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E. & Brughelli, M. (2011). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction?. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 81-85.
- Mueller-Wohlfahrt, H. W., Haensel, L., Mithoefer, K., Ekstrand, J., English, B., McNally, S., ... & Uebliacker, P. (2012). Terminology and classification of muscle injuries in sport: a consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 342-350.
- Nielsen, T.D. & Jensen, F. V. (2009). Bayesian networks and decision graphs. *Springer Science & Business Media*.
- Noya, J. & Sillero, M. (2012). Incidencia lesional en el fútbol profesional español a lo largo de una temporada: días de baja por lesión. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 47(176), 115-123.
- Olmedilla, A., Ortega, E., Abenza, L. & Boladeras, A. (2011). Lesiones deportivas y psicología: una revisión (2000-2009). *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 11(1), 45-57.
- Olmedilla, A., Laguna, M. & Redondo, A. (2011). Lesiones y características psicológicas en jugadores de balonmano. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 4(1), 6-12.
- Opar, M.D.A., Williams, M.D. & Shield, A. J. (2012). Hamstring strain injuries. *Sports Medicine*, 42(3), 209-226.
- Quatman, C.E. & Hewett, T. E. (2009). The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism?. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 328-335.

- Robinson, R.H. & Gribble, P.A. (2008). Support for a reduction in the number of trials needed for the Star Excursion Balance Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 89(2), 364-370.
- Schache, A.G., Blanch, P.D. & Murphy, A.T. (2000). Relation of anterior pelvic tilt during running to clinical and kinematic measures of hip extension. *British Journal of Sports Medicine*, 34(4), 279-283.
- Sherry, M.A., & Best, T.M. (2004). A comparison of 2 rehabilitation programs in the treatment of acute hamstring strains. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 34(3), 116-125.
- Sun, Y., Wei, S., Zhong, Y., Fu, W., Li, L., & Liu, Y. (2015). How Joint Torques Affect Hamstring Injury Risk in Sprinting Swing–Stance Transition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(2), 373.
- Taylor, K.L., Sheppard, J. M., Lee, H., & Plummer, N. (2009). Negative effect of static stretching restored when combined with a sport specific warm-up component. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), 657-661.
- Thelen, D.G., Chumanov, E. S., Best, T.M., Swanson, S.C. & Heiderscheidt, B.C. (2005). Simulation of biceps femoris musculotendon mechanics during the swing phase of sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1931.
- Thorborg, K., Petersen, J., Magnusson, S. P. & Hölmich, P. (2010). Clinical assessment of hip strength using a hand-held dynamometer is reliable. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 493-501.
- van Mechelen, W., Hlobil, H. & Kemper, H.C. (1992). Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. *Sports Medicine*, 14(2), 82-99.
- Verhagen, E., Van der Beek, A.J., Bouter, L.M., Bahr, R.M., & Van Mechelen, W. (2004). A one season prospective cohort study of volleyball injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 477-481.
- Wiese-Bjornstal, D.M. (2009). Sport injury and college athlete health across the lifespan. *Journal of Intercollegiate Sport*, 2, 64-80.
- Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T. & Cambier, D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players a prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 31(1), 41-46.
- Woods, C., Hawkins, R. D., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A. & Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 36-41.
- Yu, B., Queen, R.M., Abbey, A.N., Liu, Y., Moorman, C.T., & Garrett, W.E. (2008). Hamstring muscle kinematics and activation during overground sprinting. *Journal of Biomechanics*, 41(15), 3121-3126.
- Zvijac, J.E., Toriscelli, T.A., Merrick, S. & Kiebzak, G.M. (2013). Isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength variables from the NFL Scouting Combine are not predictive of hamstring injury in first-year professional football players. *American Journal of Sports Medicine*, 41(7), 1511-1518.