

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.



Análisis angular del ratio H/Q funcional en la evaluación isocinética de la rodilla en futbolistas

Angular analysis of the functional H/Q ratio in the isokinetic evaluation of the knee in soccer players

Autor: Francisco Javier Carbonell Gil.

Tutor: Luis Carrasco Páez.

Departamento: Educación Física y Deporte.

Curso: 2017- 2018.

Opción: Intervención.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. EL FÚTBOL	5
2.2. CONCEPTO DE LESIÓN	6
2.3. LESIONES EN EL FÚTBOL	8
2.4. FACTORES DE RIESGO DE LA DISTENSIÓN DE ISQUIOTIBIALES	10
2.5. LA FATIGA.....	13
2.6. MECANISMO LESIONAL.....	15
2.7. RATIOS DE FUERZA ISOCINÉTICA PARA DETECTAR DESEQUILIBRIOS MUSCULARES E HISTORIA DEL RATIO H/Q	17
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	20
4. OBJETIVO.....	21
5. MATERIAL Y MÉTODO	21
5.1. DISEÑO DEL ESTUDIO	21
5.2. PARTICIPANTES	21
5.3. PROCEDIMIENTO	22
5.3.1. INTERVENCIÓN	22
5.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
6. RESULTADOS.....	25
7. DISCUSIÓN	27
8. CONCLUSIONES	30
9. NUEVAS PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN	30
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXO.....	36

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es calcular ratios H/Q funcionales específicos para determinar posibles imbalances musculares considerando las angulaciones en las que se producen un mayor número de lesiones en la musculatura flexora de la rodilla de futbolistas. Doce jugadores de fútbol en activo de categoría senior han participado en este trabajo de manera voluntaria. Todos los sujetos han sido evaluados mediante un dinamómetro isocinético tras una familiarización con el mismo. Se han realizado mediciones en base a las variables torque pico y angulaciones de especial interés (10° y 20° de flexión de rodilla). Estas mediciones se realizaron primero sin fatiga previa y posteriormente tras la aplicación de fatiga muscular local. Finalmente se han comparado los resultados obtenidos con el fin de valorar la capacidad diagnóstica del ratio H/Q funcional específico.

Palabras clave: Evaluación Isocinética, Ratio H/Q, Desequilibrio Muscular, Fútbol.

ABSTRACT

The aim of this study is to calculate functional and specific H/Q ratios to decide possible strength imbalances considering the angulations in which a greater number of injuries in the flexor muscles of the knee occur in football players. Twelve active football players of amateur category have participated in this study voluntarily. All subjects have been evaluated with an isokinetic dynamometer after a familiarization with said device. Measurements have been made based on the variables peak torque and angulations of special interest (10° and 20° of knee flexion). These measurements were made in first without previous fatigue and subsequently after the application of local muscle fatigue. Finally, the results obtained have been compared in order to assess the diagnostic capacity of the functional and specific H/Q ratio.

Keywords: Isokinetic testing, H/Q Ratio, Muscular Imbalance, Soccer.

1. INTRODUCCIÓN

El Trabajo de Fin de Grado consiste en la realización de un proyecto durante el último curso de los estudios de grado que cuenta con la supervisión de un tutor durante toda su confección. Su realización tiene como principal objetivo la utilización de información que se ha ido obteniendo durante los cuatro años en las diferentes asignaturas.

El primer paso a la hora de realizar un TFG es la elección de un tema actual que permita cierta discusión. Una vez seleccionado, procedemos a la búsqueda de toda la información científica disponible. Posteriormente seleccionado, podemos optar por dos líneas de desarrollo; una de ellas es la realización de una revisión bibliográfica, que consiste en la búsqueda de información científica sobre ese tema y que tiene como objetivo final la redacción de unas conclusiones extraídas en base a toda la literatura existente. La otra opción consiste en la realización de una propuesta de intervención, en la que tras una previa documentación científica sobre el tema a tratar, se opta por la puesta en práctica de una intervención, para lo que se necesitará contar con una muestra concreta y con la que podremos finalmente extraer nuestros propios resultados y discutir en base a ellos y su contraste con la literatura existente hasta el momento.

El presente trabajo se ajusta a la segunda línea, es decir, una propuesta de intervención, fundamentada obviamente en base a una amplia información científica y con la que creemos que podemos discutir sobre un tema de bastante importancia en el mundo del deporte.

La incidencia lesional en el fútbol es bastante alta, se trata de uno de los deportes con mayor número de lesiones. Esto hace que la evaluación continua de futbolistas resulte clave para la detección de posibles factores de riesgo, lo cual puede contribuir a evitar que ese jugador se lesione y repercuta negativamente en el equipo. Los ratios que detectan imbalances musculares entre los músculos isquiotibiales (H) y cuádriceps (Q) son los más utilizados en el mundo del fútbol, sin embargo existen ciertas controversias con respecto a la mejor forma de aplicarlos.

En los siguientes apartados podremos ir encontrando toda la información referida a esta temática, así como documentación bibliográfica científica, muestra, metodología, resultados, discusión y finalmente conclusiones.

2. MARCO TEÓRICO

El fútbol se caracteriza por ser uno de los deportes con mayor número de lesiones, sin embargo existen numerosos indicadores que nos pueden aportar información muy valiosa acerca de esos factores de riesgo que tanto preocupan a readaptadores, preparadores y entrenadores. El ratio de isquiotibiales y cuádriceps (Ratio H/Q) se presenta como una de las herramientas más empleadas para la detección de ciertos factores de riesgo que puedan afectar a la salud deportiva del futbolista. Es por esto por lo que nos hacemos la siguiente pregunta:

¿Es posible reducir el número de lesionados de un equipo de fútbol a lo largo de una temporada?

2.1. EL FÚTBOL

El fútbol es uno de los deportes más populares que existe y el incremento en cuanto al número de practicantes y espectadores es una realidad día tras día. Es el deporte de mayor popularidad en el mundo, involucrando activamente a casi el 4% de la población mundial (Noya y Sillero, 2012b).

En los últimos 50 años la evolución ha sido muy notable, pasando aproximadamente de 60 a más de 250 millones de jugadores federados y unificando en la actualidad a más de 200 asociaciones. Además, también ha aumentado el número de mujeres dedicadas a este deporte, superando los 40 millones de jugadoras federadas (Elis, et al., 2004).

Singer (1986) realiza una clasificación basada en el grado de control sobre la acción, en base a esta podemos caracterizar al fútbol por ser un deporte de regulación externa. Esto quiere decir que se compone de tareas motrices que son abiertas y perceptivas, entendiendo por abiertas aquellas tareas que se dan en un ambiente desconocido y/o cambiante, y por perceptivas a aquellas tareas que requieren de la participación cognitiva, por ser desconocida la secuencia de movimientos.

Marqués, Calleja, Arratibel y Terrados (2016) lo definen como un deporte predominantemente aeróbico aunque aportan que la vía anaeróbica gana relevancia

debido a los esfuerzos de alta intensidad que se dan durante los entrenamientos y los partidos. Además, establecen que las aceleraciones, desaceleraciones, saltos y cambios de dirección son demandas continuas del juego, resultando también clave el desarrollo de ciertas habilidades técnico-tácticas para un rendimiento con éxito.

También destacar que nos encontramos ante un deporte muy exigente en cuanto al plano físico, puesto que las cargas, choques e impactos están presente en la mayoría de acciones al tratarse de un deporte de colaboración-oposición. Todas estas características influyen en que se haya convertido en uno de los deportes con mayor incidencia lesional.

2.2. CONCEPTO DE LESIÓN

Deporte y lesión son dos conceptos que se encuentran íntimamente relacionados. En los últimos tiempos, la preocupación de los clubes deportivos por las lesiones de sus deportistas ha ido en aumento. El que un futbolista se encuentre lesionado le supone al club un tiempo de inactividad deportiva durante la cual el futbolista no puede desempeñar su trabajo. Cuando un futbolista se lesiona se ven afectados los dos pilares fundamentales que constituyen este deporte, por un lado el propio deportista se ve obligado a permanecer un tiempo determinado de baja, lo que le conlleva en la mayoría de ocasiones a una disminución de sus capacidades físicas y por otro lado es el propio club el que se ve afectado en cuanto a posibles resultados deportivos que le puede acarrear el hecho de que ese futbolista no participe en la competición durante un tiempo.

A la hora de definir el concepto de lesión parece no existir un consenso claro y aceptado por todos. Rodríguez y Gusi (2002) aportan una definición bastante sencilla de lesión deportiva, considerándola como un conjunto de alteraciones que molestan, disminuyen o en definitiva impiden realizar con normalidad ciertas actividades físicas deportivas.

Otra definición, recogida por Llana, Pérez y Lledó (2010) aúna varias consideraciones tenidas en cuenta por diferentes autores y consideran una lesión deportiva cuando supone una ausencia del deportista en el entrenamiento o en el juego y requiere de tratamiento médico, generando una imposibilidad de participación al jugador que puede oscilar desde días hasta semanas. Además, añaden que la ausencia

del entrenamiento o del juego depende no sólo de un componente subjetivo muy fuerte sino también de otras variables como el calendario de partidos, la posibilidad de seguir un tratamiento médico u otro y factores como la importancia del jugador y del partido. Estos autores también consideran que deberían tenerse en cuenta los factores socioeconómicos o sociales adversos.

Estas discrepancias en cuanto al concepto de lesión ha motivado la publicación de un artículo en el que un grupo de autores toman un consenso sobre lesiones bajo los auspicios del Centro de Evaluación e Investigación Médica de la Federación Internacional de Fútbol, en el que establecieron sus propuestas de definición hasta que, finalmente se presentó la declaración final del mismo. En dicha declaración se recogían las definiciones de lesión, lesión recurrente y gravedad de la lesión junto con los criterios para clasificar las lesiones en base a la localización, tipo, diagnóstico y causa.

Fuller et al. (2006) como participantes de este consenso establecen la definición de lesión como cualquier queja física de un jugador ocasionada durante un partido o entrenamiento de fútbol y diferencian entre, "medical attention injury" o "lesión por atención medica" y "time loss injury" o "lesión por pérdida de tiempo", la cual se caracteriza por impedir al jugador la participación en el entrenamiento o partido futuro.

Estos mismos autores consideran lesión recurrente a una lesión del mismo tipo y en el mismo sitio que ocurre después de que el jugador haya regresado a la participación total tras la lesión. Si esta lesión vuelve a ocurrir dentro de los dos meses posteriores al regreso la denominan "recurrencia temprana", si ocurre entre los 2 y los 12 meses posteriores a la primera lesión "recurrencia tardía" y si se produce tras más de 12 meses del regreso del futbolista como "recurrencia retrasada".

Además, detallan los aspectos a tener en cuenta para determinar la gravedad y la clasificación de la lesión, de manera que se cuantifican la cantidad de días transcurridos desde el momento en el que tiene lugar la lesión hasta el momento de la incorporación total al entrenamiento y a la plena disponibilidad, teniendo en cuenta que el día en el que tiene lugar la lesión no se cuenta, puesto que se considera el día cero.

En cuanto a la clasificación de las mismas, se debe tener en cuenta la localización (cabeza-cuello, extremidades superiores, tronco y extremidades inferiores), el tipo (fracturas y estrés óseo, articular (no ósea) y ligamentosa, muscular o tendinosa,

contusión, corte y lesiones de la piel, del sistema nervioso y otras), el lado del cuerpo en el que tiene lugar (derecho o izquierdo) y el mecanismo de lesión (traumático o por exceso de uso) (Fuller, et al., 2006).

Por otro lado, Mueller et al. (2013), establecen que las lesiones se dividen en estructurales (daño de fibras) y funcionales (alteraciones causadas por la fatiga o problemas neurológicos).

2.3. LESIONES EN EL FÚTBOL

Las altas exigencias neuromusculares y articulares que son requeridas en el fútbol hace que la incidencia lesional en este deporte sea muy elevada (Dvorak y Junge, 2000). Esto supone un problema importante para el fútbol profesional, ya que las lesiones de los futbolistas tienen una gran repercusión sobre los intereses deportivos y económicos de los clubes (Small, McNaughton, Greig y Lovell, 2009). Al comparar el fútbol con otros deportes, diversos autores comparten la idea de que se trata de uno de los deportes con mayor incidencia de lesiones.

Romero y Tous (2010) aportan que a la hora de recoger la incidencia lesional se realiza en base a 1000 horas de juego. La siguiente fórmula es la que se utiliza en la actualidad para comparar las lesiones que tienen lugar en los clubes deportivos:

$$\frac{\text{Número de lesiones}}{\text{Horas de exposición al entrenamiento}} * 100$$

No obstante, resulta muy importante tener en cuenta el momento en el que se produce la lesión (entrenamiento o competición). En cuanto a la incidencia lesional en competición se establecen un total de entre 25-28 lesiones por cada 1000 horas de exposición según la mayoría de autores, disminuyendo esta incidencia a las 5-6 lesiones por cada 1000 horas de exposición cuando hablamos de entrenamientos (Noya y Sillero, 2012a). Según Nilstad, Andersen, Bahr, Holme y Steffen (2014) en el fútbol femenino la incidencia es menor, con 13 lesiones por cada 1000 horas de competición.

Llana et al. (2010) observaron un aumento del índice de lesión durante los partidos de competición, y resaltaron la principal localización de las mismas en las extremidades inferiores y más concretamente en el muslo. En cuanto a los tipos más

comunes observaron las contusiones, los esguinces y las distensiones músculo-tendinosas.

Si bien han sido numerosos los estudios que han tenido como objetivo principal analizar la epidemiología de lesiones en el fútbol, a continuación realizamos un recorrido por las investigaciones realizadas durante estos últimos años intentando extraer conclusiones claras acerca de las lesiones en este deporte.

Delextrat , Gregory y Cohen (2010) aportan que la lesión más común que afecta a los jugadores de fútbol es la distensión de H, representando el 12% de todas las lesiones reportadas en el fútbol y aportan que la mayoría de autores corroboran estas indicaciones, estableciendo un rango de 12-16% en la mayoría de estudios para indicar el porcentaje de lesiones de H en base al total de lesiones de cualquier otro tipo, que tienen lugar en el fútbol. Wright, Ball y Wood (2009) aportan que las distensiones de H tienen el doble de posibilidades de ocurrir que las de Q.

Noya y Sillero (2012a) realizaron un estudio con el fin de comprobar la epidemiología de las lesiones en el fútbol profesional español durante la temporada 2008 - 2009. En correlación con el resto de autores, encontraron que la gran mayoría de lesiones en fútbol se producen en la extremidad inferior (72 - 89% de las lesiones) , en el muslo (21-23% de todas las lesiones) y más concretamente en la parte posterior (16.3 % de todas las lesiones). En cuanto al tipo de lesión, el 49,1 % fueron de tipología muscular (sobrecarga, contractura o rotura). Además, observaron que las roturas musculares fueron las que provocaron mayores periodos de baja (267.2 días de baja por equipo y temporada), seguidas de las de carácter ligamentoso (182.1 días de baja por equipo y temporada), siendo el bíceps femoral el músculo más lesionado (3.3 lesiones por temporada y equipo), mientras que el músculo recto femoral fue el que más días de baja provocó (76.6 días por temporada y equipo). Esto concuerda con las aportaciones de Koulouris y Connell (2003), los cuales indican que el bíceps femoral y más concretamente su porción larga es la zona en la que se localiza principalmente el daño muscular.

En esta misma línea, Hägglund, Waldén y Ekstrand (2013), tras examinar a 26 equipos europeos entre los años 2001 y 2010, informaron que el 42% de las lesiones que afectaron a las extremidades inferiores fueron lesiones en los H y que ocurrieron con mayor frecuencia en la pierna de pateo.

Ekstrand, Askling, Magnusson y Mithoefer (2013) aportan que 2/3 de las lesiones de H son estructurales, lo que conlleva a períodos de recuperación más largos.

Según Elis et al. (2004), un fallo mecánico durante la contracción excéntrica (alargamiento y activación muscular simultánea) en la que las fibras musculares se activan para contraerse al mismo tiempo que se alargan, es lo que caracteriza a las lesiones estructurales, puesto que estas fibras pasan a soportar fuerzas internas mayores al punto de ruptura de la estructura muscular.

Evangelidis, Gerard Pain y Folland (2014) también aportan que las distensiones de H son las lesiones más comunes en fútbol y añaden que suelen ocurrir cuando éstos están en su punto máximo de estiramiento trabajando excéntricamente para desacelerar la pierna.

Mueller et al. (2013) establecen que la distensión muscular de H es la lesión con mayor prevalencia en el deporte. Además, Mendiguchia, Alentorn-Geli y Brughelli (2012) aportan que la frecuencia de esta lesión sigue siendo la misma que hace treinta años, lo que significa que los factores de riesgo que se han examinado hasta el momento no han permitido una reducción significativa de las mismas y por lo tanto aún no se ha conseguido atajar el problema.

En síntesis, una vez consultada la bibliografía disponible podemos comenzar a ir sacando conclusiones acerca de la localización y tipología de lesiones con mayor incidencia en el fútbol. Parece ser que nos encontramos con un deporte en el que la mayoría de lesiones tienen lugar en las extremidades inferiores y, especialmente en la zona posterior del muslo (H), siendo éstas de carácter muscular en la mayoría de los casos y afectando principalmente al bíceps femoral. A continuación, trataremos de profundizar un poco más con el objetivo principal de conocer todos aquellos factores que debemos tener en cuenta de cara a la prevención de la lesión muscular en los H.

2.4. FACTORES DE RIESGO DE LA DISTENSIÓN DE ISQUIOTIBIALES

Son muchos los autores que han tratado de averiguar qué factores de riesgo son los más importantes a tener en cuenta a la hora de hablar de una lesión muscular en los H. A día de hoy parece no estar muy claro este tema, aunque Mendiguchia et al. (2012)

establecen que, en la mayoría de ocasiones, la lesión se produce como resultado de una interacción entre varios factores.

En este sentido, la mayoría de estudios de investigación establecen como principal factor de riesgo el haberse lesionado previamente (Engebretsen, Myklebust, Holme, Engebretsen y Bahr, 2010). Opar, Williams, Timmins, Dear y Shield (2013) añaden que la fuerza excéntrica de los H se reduce tras haber sufrido una lesión previa en esta musculatura.

Según Croisier, Ganteaume, Binet, Genty y Ferret (2008) es imprescindible conocer los factores de riesgo asociados con esta lesión. Aportan que sólo algunos de estos factores han sido científicamente asociados con la lesión, mientras que otros simplemente han sido sugeridos como implicados. Establecen que los factores intrínsecos relacionados con las características individuales son mucho más predictivos de la lesión que los factores extrínsecos, los cuales están relacionados principalmente con el medio ambiente. Destacan el carácter multifactorial que presenta la lesión de H y consideran los desequilibrios de fuerza entre éstos y los Q como el factor principal. Además, recopilan de otros estudios la importancia de la flexibilidad como factor de riesgo para las distensiones musculares. Estos autores establecen los siguientes parámetros como indicadores de un perfil de fuerza desequilibrado, y señalan la presencia de un desequilibrio de fuerza cuando se cumplen al menos dos de los tres parámetros:

1. Diferencias bilaterales de 15% o más en concéntrico y/o excéntrico en isquiotibiales.
2. Relación concéntrica (en al menos 1 pierna) de menos de 0.45-0.47.
3. Relación mixta de menos de 0.80-0.89.

Estos autores consideran imprescindible la evaluación de la fuerza de estos grupos musculares durante la temporada y concluyen que la intervención isocinética puede incluirse como una herramienta de detección temprana de desequilibrios de fuerza en jugadores profesionales de fútbol resultando de gran importancia su utilización en pretemporada.

Por otro lado, Beijsterveldt, Port, Vereijken y Backx (2014) indican que para obtener factores de riesgo válidos y fiables en un estudio epidemiológico, la investigación debe de cumplir las siguientes características: ser prospectiva, que la muestra esté compuesta por jugadores de fútbol y que los métodos estadísticos empleados sean multivariantes. Estos autores clasifican los factores de riesgo en 3 tipos:

1. Factores de riesgo intrínsecamente inmodificables: sexo, edad o lesión previa.

2. Factores de riesgo intrínsecamente modificables: falta de flexibilidad, desequilibrio de fuerza muscular, inestabilidad de la pelvis y de la columna vertebral, problemas de control motor (mala técnica de carrera) y la fatiga.

3. Factores de riesgo extrínsecos: tipo de superficie de juego y calzado.

En relación a la flexibilidad, debemos decir que son varios los estudios que han intentado analizar su papel en la lesión de H. Witvrouw, Danneels, Asselman, D'Have y Cambier (2003) se encargaron de analizar la flexibilidad pasiva de 146 jugadores profesionales de la liga belga y encontraron una reducción de la flexibilidad en H en aquellos jugadores que se habían lesionado previamente. En otro estudio, Henderson, Barnes y Portas (2010) analizaron a 36 jugadores de la liga inglesa de fútbol y obtuvieron que por cada grado de reducción de flexibilidad de los H, el riesgo de lesión aumentaba un 1.78%. Sin embargo, otros autores como Engebretsen et al. (2010), que emplearon una muestra más grande de jugadores y métodos similares, no encontraron resultados similares, por lo que aún no parece existir un consenso claro en base a este tema.

En cuanto a la estabilidad pélvica, Mendiguchia et al. (2012) aportan que una estabilidad adecuada mediante una buena activación de los abdominales evita la anteversión pélvica, disminuyendo así el alargamiento excesivo de los H en la carrera. Estos mismos autores aportan que la fatiga es un importante factor de riesgo de lesión debido a su influencia en la respuesta neurológica y que afecta a la cinemática de carrera de los futbolistas. Añaden además, que la sinergia lumbopélvica-isquiotibial juega un papel relevante.

Según Navarro et al. (2015) la mayoría de los estudios de investigación en fútbol son limitados a la hora de evaluar fuerza o flexibilidad. Como consecuencia, aportan que existe una falta de conocimiento sobre las causas principales de esta lesión que

permitiría anticipar, predecir y recuperar las lesiones individualmente y consideran necesario el empleo de un nuevo enfoque basado en los factores biomecánicos involucrados en la lesión.

En un estudio muy reciente, Lee, Mok, Chan, Yung y Chan (2017) establecen como factores de riesgo intrínsecos a tener en cuenta los siguientes: lesión previa de H (los jugadores con antecedentes de lesiones por distensiones anteriores en los H tienen un riesgo de 3.6 veces mayor de sufrir lesiones por distensiones en estos músculos), edad avanzada, fuerza H reducida, fuerza del Q reducida, menor resistencia de H a la acción del cuádriceps (H/Q), diferencia bilateral en la longitud del fascículo isquiotibial y diferencia bilateral en la fuerza de H.

Como vemos, parece quedar claro que los déficits y/o desequilibrios de fuerza entre H y Q junto con el hecho de haber sufrido una lesión previa similar parecen ser los factores de riesgo que cobran una mayor fuerza. La inestabilidad pélvica, los problemas de control motor y la fatiga parece que también deben considerarse como factores de riesgo a tener en cuenta y, en cuanto al déficit de flexibilidad, podemos decir que no existe aún un consenso claro sobre si debe ser considerado como un factor de riesgo importante para la distensión de H.

2.5. LA FATIGA

Muchos autores han considerado que la fatiga debe ser tenida en cuenta como un factor de riesgo a la hora de hablar sobre lesiones musculares. Podemos hablar de dos tipos de fatiga, la muscular local y la fatiga general u orgánica.

Según Barbany (2002) la fatiga muscular local se manifiesta en un grupo concreto de músculos en ejercicios específicos y concretos. Añade que aparece en movimientos que se efectúan a una elevada potencia de esfuerzo y en movimientos repetitivos, en los que aparece por la larga duración de la serie cuando la carga es ligera. Concluye que en este tipo de movimientos la afectación global del organismo es pequeña o inexistente. También define la fatiga general u orgánica como una afectación del conjunto de funciones orgánicas, además de las específicamente musculares. Aporta que es típica de ejercicios de duración prolongada, en la que participan de forma activa e intensa todos los sistemas corporales.

Ambos tipos de fatiga han sido empleadas en estudios científicos con el objetivo de reproducir las demandas físicas a las que son sometidos los futbolistas durante los partidos.

Greig (2008) realizó un estudio en el que cuantificó los cambios en los torques pico isocinéticos a 3 velocidades distintas ($60^{\circ}\cdot s^{-1}$, $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $300^{\circ}\cdot s^{-1}$) de los flexores y extensores de rodilla de la pierna dominante durante un partido de fútbol simulado de 90 minutos en un tapiz. Realizó mediciones cada 15 minutos y después del intervalo de medio tiempo y observó que el efecto de la fatiga comenzó a ser evidente en las contracciones excéntricas de los H en los últimos 15 minutos de la primera mitad y durante los últimos 30 minutos de la segunda. También observó que estas acciones excéntricas de los H tienen más riesgo de lesión a una mayor velocidad angular, similar a la del sprint.

Delextrat et al. (2010) diseñaron un ejercicio simulado de fútbol para inducir la fatiga basado en una prueba de carrera que incluía acciones como trotar, correr y esprintar con el objetivo de ver cómo afectaba la fatiga a la relación de H frente a Q, H/Q. Se anotaron los datos correspondientes a las contracciones concéntricas de H y Q y las contracciones excéntricas de H a $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ y $180^{\circ}\cdot s^{-1}$. Observaron que los pares concéntricos máximos de Q y de H, así como los pares excéntricos máximos de H se redujeron significativamente tras la prueba de fatiga y apuntan que se produjeron mayores pérdidas de fuerza en los H en el modo excéntrico en comparación con el concéntrico. Esto concuerda con las aportaciones de otros autores que establecen que al final del partido los H son más vulnerables a la rotura muscular, explicando de esta forma, que la mayor incidencia de lesiones (26%) tienen lugar en los últimos 15 minutos de partido.

En cuanto al efecto de la fatiga, estos autores establecen que es mayor en la pierna dominante con respecto a la pierna no dominante, lo cual se debe al papel que desempeña la pierna dominante como pivote a la hora de realizar cambios de dirección y a los requerimientos excéntricos que soporta al final de cada carrera para desacelerar la pierna. Por tanto, concluyen que la fatiga generada por ráfagas cortas de actividad intensa o muy intensa junto con la fatiga generada a largo plazo durante el transcurso del partido son factores que pueden aumentar la posibilidad de lesiones en los músculos H.

Wright et al. (2009) evaluaron el efecto de la fatiga local en el dinamómetro isocinético tanto en la relación convencional de H concéntricos (Hcon) dividido entre Q concéntricos (Qcon) como en la relación funcional de H excéntricos (Hecc) dividido entre Q concéntricos (Qcon) y observaron que la relación Hecc/Qcon fue significativamente más baja tras el ejercicio de fatiga, por lo que establecen que la fatiga debe ser tomada en cuenta como factor de riesgo asociado a la producción de lesiones musculares. Estos autores consideraron que la musculatura se encontraba suficientemente fatigada cuando se constataba una reducción del 50% del rendimiento del par máximo.

Por tanto y tras las revisiones realizadas, podemos concluir que la fatiga muscular tanto a nivel local como general deben ser tomadas en cuenta como posibles factores que predisponen especialmente a los H a sufrir una lesión de carácter muscular.

2.6. MECANISMO LESIONAL

Como se ha indicado con anterioridad, la desproporción existente entre la fuerza concéntrica de Q y la excéntrica de H aparece como uno de los factores de riesgo principales a tener en cuenta en la producción de la lesión de H.

Petersen y Hölmich (2005) describen el mecanismo lesional de manera muy concreta, aportando que esta lesión se produce tras la extensión rápida y activa de la rodilla, la cual solicita acción excéntrica en los H, produciendo una desaceleración de la parte inferior de la pierna en la última parte de balanceo. Estos músculos H son vulnerables a las lesiones durante el cambio rápido de su acción excéntrica a la concéntrica, cuando se vuelven extensores activos de la cadera. A una cierta intensidad de ejercicio, el jugador sobrepasa los límites mecánicos tolerados por la unidad muscular, lo que justifica el análisis del desequilibrio de fuerza como factor principal de la distensión de H.

Además, Askling, Tengvar, Saartok y Thorstensson en De Hoyo et al. (2013) aportan que el mayor estiramiento músculo-tendinoso se produce sobre el bíceps femoral, lo que puede contribuir a que éste sea el músculo que mayor tendencia tiene a lesionarse.

En la misma línea, Heiderscheit, Sherry, Silder, Chumanov y Thelen (2010) aportan que la máxima tensión muscular de los H se produce en el final de la fase de balanceo en la carrera, ocasionando normalmente daño muscular en la parte proximal del bíceps femoral; sin embargo, también nos indican que cuando se realizan movimientos de la pierna a alturas superiores y velocidades más lentas como por ejemplo durante el control del balón, el daño muscular recae principalmente sobre el semitendinoso, dando lugar a tiempos de recuperación más largos.

Las siguientes figuras en De Hoyo et al. (2013) representan de manera perfecta los tres músculos que componen el grupo isquiotibial [Figura 1.A.] y la tensión que se genera sobre esta musculatura durante las fases de la carrera [Figura 1.B].

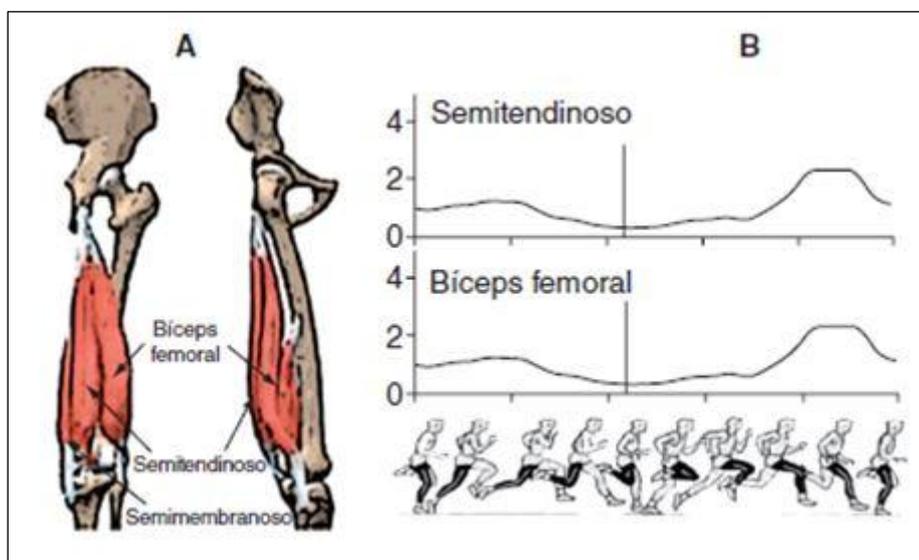


Figura.1.A. El conjunto de los isquiotibiales, formado por semimembranoso, semitendinoso y bíceps femoral, siendo la porción larga de este último el músculo que comúnmente se lesiona durante las acciones de velocidad. *Figura 1.B.* Durante la fase de balanceo los isquiotibiales se activan y estiran simultáneamente, absorbiendo la energía del miembro inferior y creando unas condiciones óptimas para la lesión. Tomado de De Hoyo et al. (2013).

Por tanto, una vez que sabemos cómo y por qué se produce la distensión de H, se procede a la descripción detallada de los distintos ratios de fuerza existentes que tienen como objetivo detectar estos desequilibrios musculares.

2.7. RATIOS DE FUERZA ISOCINÉTICA PARA DETECTAR DESEQUILIBRIOS MUSCULARES E HISTORIA DEL RATIO H/Q

Hopkins (2000) establece que la evaluación de los desequilibrios musculares en cuanto a índices isocinéticos ha sido aceptada en base a conocimientos teóricos y empíricos y en menor medida a la evidencia científica respecto a su grado de validez y fiabilidad, por tanto aporta que, su uso como predictor de riesgo de lesión debe ser considerado con cautela.

Croisier (2004) aporta que los índices de fuerza de la articulación de la rodilla se agrupan en dos tendencias. Por un lado, los Índices de Fuerza Bilateral (desequilibrio muscular entre la fuerza de un segmento corporal y su homónimo opuesto, es decir, un desequilibrio bilateral) y por otro lado, los Índices de Fuerza Unilateral (alteración entre la fuerza de la musculatura agonista y antagonista al movimiento articular, es decir, en este caso, un desequilibrio unilateral). Estos índices de fuerza isocinética proporcionan información relevante sobre la función articular de la rodilla, el riesgo de lesión de ligamento cruzado anterior (LCA), musculatura isquiosural y sobre la estabilidad dinámica de la rodilla.

Ayala, Sainz de Baranda, De Ste Croix y Santonja (2012) aportan que el índice de fuerza bilateral ha sido tradicionalmente utilizado atendiendo a la relación existente entre la máxima fuerza de: 1) pierna lesionada respecto a la no lesionada y 2) pierna dominante respecto a la no dominante, concluyendo que a día de hoy no existe un consenso claro sobre la forma más apropiada de medir este índice.

En cuanto a la evaluación unilateral de la relación entre la máxima fuerza de la musculatura extensora y flexora de la articulación de la rodilla, ha sido tradicionalmente determinada mediante el empleo de dispositivos isocinéticos y expresada cuantitativamente como el cociente entre el momento o pico de fuerza máxima isocinético de la musculatura flexora y la musculatura extensora de rodilla medido durante contracciones concéntricas (Ayala et al., 2012).

Tradicionalmente, lo que se hacía era cuantificar la relación de torque pico de los músculos H y Q, calculado a partir del torque máximo concéntrico de ambos grupos musculares, lo que empezó a conocerse como la relación convencional H/Q.

Posteriormente, esta relación convencional dejó su lugar a la denominada relación funcional, que calcula la relación del torque pico isquiotibial excéntrico al torque pico de cuádriceps concéntrico, puesto que grupos musculares que realizan acciones opuestas (flexión vs extensión) no actúan simultáneamente de forma concéntrica. Esta relación funcional refleja mejor la función antagonista recíproca de los músculos durante actividades tales como correr y patear (Aagaard, Simonsen, Trolle, Bangsbo y Klausen, 1995).

Ayala et al. (2012) establecen que los estudios científicos que tratan de determinar la validez de ambos índices de fuerza unilateral (convencional y funcional) como indicadores de desequilibrios musculares y predictores del riesgo de sufrir lesiones en la musculatura isquiotibial son escasos y sus resultados son a menudo controvertidos.

Sin embargo, otros autores han intentado profundizar aún más en este tema y aportan que ambos grupos musculares (H y Q) ejercen su torque pico en diferentes angulaciones de la articulación de la rodilla. Establecen que esta cuestión puede reducir la validez de la relación funcional para la evaluación muscular antagonista recíproca, por lo que cada vez más se está optando por una relación funcional específica del ángulo, la cual es calculada en todo el rango de movimiento de la articulación de la rodilla (Evangelidis et al., 2014).

En esta misma línea, De Ste Croix, ElNagar, Iga, Ayala y James (2017) apuntan que la mayoría de estudios han tomado los torque pico excéntricos de H y concéntrico de Q para determinar la posibilidad de la existencia de desequilibrios de fuerza entre ambos grupos musculares. Estos autores aportan que este método carece de relevancia funcional, puesto que únicamente lo que indica es la capacidad de contracción del músculo alrededor de la articulación. Consideran que el verdadero interés de este ratio se centra en el análisis angular específico, puesto que nos permite comparar la fuerza de ambos grupos musculares durante todo el rango de movimiento (ROM) de la articulación de la rodilla y centrarnos en aquellas posiciones articulares de verdadero interés.

Una vez planteada esta cuestión, parece cobrar importancia la necesidad de llevar a cabo las mediciones de ambos grupos musculares en rangos de movimiento

específicos para, de esta forma, poder obtener unos resultados mucho más concretos y determinantes.

Varios estudios se han ido llevando a cabo en base a esta línea durante los últimos años. Evangelidis et al. (2014) realizaron en su estudio mediciones angulares específicas, ya que midieron los ratios H/Q funcional y convencional tanto inespecíficos como específicos de cada ángulo de la articulación de la rodilla en jugadores de fútbol sanos y varones recreativamente activos, sin embargo no encontraron diferencias significativas de los ratios H/Q entre ambos grupos.

Pellicer et al. (2015) realizaron un estudio en el que tenían como principal objetivo la comparación del ratio H/Q en diferentes ángulos de rodilla entre jugadores/as de fútbol de niveles similares y un posterior análisis de las diferencias observadas entre sexo y pierna dominante con pierna no dominante, para ello analizaron 5 posiciones (40°, 50°, 60°, 70° y 80°) de flexión de rodilla. Observaron una mayor fuerza en ángulos más cercanos a la extensión de rodilla en comparación con las posiciones más flexionadas de la misma, además no encontraron diferencias significativas en las relaciones H/Q entre hombres y mujeres pero si observaron valores un 9% más altos en cuanto al ratio en la pierna dominante con respecto a la pierna no dominante.

De Mello et al. (2017) también evaluaron la distribución del torque de los músculos H y Q y su relación en todo el rango de movimiento, con el fin de identificar posibles desequilibrios musculares en la rodilla de mujeres deportistas de futsal. Se compararon los pares máximos flexores y extensores y la relación H/Q cada 5° de movimiento de la articulación de la rodilla.

Como vemos, son muchos los autores que están utilizando este ratio H/Q funcional específico en sus estudios para llevar a cabo las mediciones de fuerza entre la musculatura de los H y los Q.

Ahora bien, si queremos profundizar un poco más sobre esta cuestión debemos hacernos la siguiente pregunta, ¿Qué ángulos son los más interesantes de medir en relación a las posiciones articulares de la rodilla en las que se suelen producir las lesiones de H?

Según De Ste Croix et al. (2017) el simple uso del torque pico no permite examinar la relación en los ángulos de las articulaciones donde es más probable que ocurra la lesión (de los 0 a los 30 primeros grados de flexión de la rodilla). Los valores de torque pico para los H y Q durante las acciones musculares concéntricas y excéntricas ocurren durante el rango medio del movimiento y aportan que estudios previos han demostrado que la capacidad de generar torque específico muscular durante las acciones concéntricas y excéntricas se altera con ángulos de la articulación disminuidos.

Estos mismos autores añaden que la medición de este ratio en las posiciones más extendidas de la rodilla puede llegar a ser más importante para las mujeres que para los hombres, ya que el análisis biomecánico de éstas indican que tienden a aterrizar con las rodillas en posiciones más extendidas.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Tradicionalmente, se ha tomado un resultado de evaluación del ratio H/Q genérico de todo el rango de movimiento (ROM) para detectar imbalances musculares entre H y Q durante la acción de extensión de la rodilla. Sin embargo, las lesiones musculares con mayor incidencia en fútbol se producen en la musculatura isquiotibial durante los últimos ángulos previos a la extensión de esta articulación. En este trabajo vamos a aplicar un ratio H/Q específico en el ROM proclive a que se produzca la lesión.

Por tanto:

¿Existen diferencias entre el ratio H/Q angular específico y el H/Q genérico que requieran de una reformulación de éste último como índice diagnóstico del riesgo lesional?

¿Es la fatiga muscular local un factor que puede condicionar la evaluación de estos ratios?

4. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es calcular ratios H/Q, contrastando los resultados obtenidos al considerar ciertas angulaciones de interés (primeros 20° de flexión de rodilla) con respecto a todo el ROM y analizar el efecto que pueda producir la fatiga muscular local en jugadores de fútbol.

5. MATERIAL Y MÉTODO

5.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

El diseño de este trabajo se ajusta a lo que se denomina un diseño cuasi experimental, pues un sólo grupo de sujetos (sin grupo control de referencia) fue sometido a una intervención, analizando los datos obtenidos resultantes de la medición de la fuerza de la musculatura de H y Q pre y post. Los resultados obtenidos en el pre se caracterizaron por la ausencia de fatiga mientras que los resultados correspondientes al post se caracterizaron por el empleo de fatiga muscular local.

5.2. PARTICIPANTES

Un total de 12 jugadores de fútbol masculino (edad = 22 ± 2.1 años, estatura = 177 ± 4.3 cm, masa corporal = 77.1 ± 12.7 kg) se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. En el momento en el que tuvieron lugar las pruebas, todos ellos estuvieron involucrados en diferentes equipos que competían en ligas regionales. En cuanto a la experiencia en el juego y las horas de entrenamiento al año fueron (experiencia = 15.9 ± 1.7 años, horas de entrenamiento al año = 238.3 ± 55.5). Todos fueron interrogados en cuanto a historial lesivo y aquellos que presentaron lesiones recientes en el miembro inferior fueron excluidos del estudio. Todos los participantes firmaron voluntariamente un consentimiento informado en el que se les informaba del protocolo que iban a seguir durante las pruebas, así como de los riesgos o molestias que implicaban y los beneficios que podrían obtener tras su realización.

5.3. PROCEDIMIENTO

5.3.1. INTERVENCIÓN

Se usó un dinamómetro isocinético (Biodex System 4PRO CE220) para llevar a cabo las mediciones de fuerza de Q bajo contracción concéntrica a $240^{\circ}\cdot s^{-1}$ (Qcon240) y H bajo contracción excéntrica a $30^{\circ}\cdot s^{-1}$ (Hecc30) de la pierna dominante de cada sujeto, entendiendo como pierna dominante aquella con la que pateaban una pelota de fútbol. Antes de cada inicio de prueba el dinamómetro era calibrado tal y como aparece en las indicaciones establecidas por el fabricante. El peso de la pierna evaluada era calculado también antes de cada prueba. Se alineó el epicóndilo lateral de la rodilla dominante con el eje de rotación del dinamómetro, ajustando de manera cautelosa la altura del dinamómetro y la distancia del mismo al eje de rotación. El brazo de palanca se ajustó de manera que la almohadilla para la sujeción del pie quedase aproximadamente 2-3 cm por encima de los maleolos del tobillo para asegurarnos de que el sujeto era capaz de realizar todo el rango de movimiento requerido. Además, se ajustaron cuatro correas más para asegurar la sujeción del sujeto, dos de ellas cruzaban el tronco, una la cintura y otra que, sobre el muslo de la pierna evaluada, cumplía la función de aislar H y Q. Durante el transcurso de todas las pruebas, los participantes mantenían sus brazos cruzados sobre el pecho para evitar cualquier compensación de la parte superior del cuerpo (*Ver apartado Anexo, Figuras 1 y 2*). Los límites que marcaban el rango de movimiento eran ajustados antes de cada prueba y se establecieron siempre entre 90° y 0° de flexión de rodilla, considerando estos 0° como la extensión completa de la misma. El ángulo de inclinación del asiento se mantuvo a 85° durante todas las pruebas.

Las mediciones se llevaron a cabo durante 3 semanas, ajustándose en todo momento a la disponibilidad de los sujetos, todas se realizaron en horario de mañana y cada visita tuvo una duración aproximada de 1 hora.

Antes de la realización de las pruebas se medía al sujeto y se realizaba una impedancia bioeléctrica mediante un analizador de composición corporal (TANITA BIOLÓGICA. BC-418 MA. Equipado con software: Easy 8.0.0.980). Posteriormente se realizaba un calentamiento en cicloergómetro a 75 Watios (W) y 70 Revoluciones Por Minuto (RPM) durante 5 minutos (Cicloergómetro Ergosect 200 (®)). Una vez completado el calentamiento, se procedía a la realización de las mediciones, que

comenzaban con la medición del torque pico de Qcon240, seguidas de la medición del torque pico de Hecc30, realizando un total de 5 repeticiones para cada prueba. Antes del inicio de estas 5 repeticiones se dejaba al sujeto tantas repeticiones como quisiera a modo de familiarización con la velocidad y la acción que iban a desarrollar. Tras ambas mediciones se dejaba un periodo de descanso de 10 minutos, el cual era aprovechado para anotar los datos obtenidos en la prueba. Tras el descanso, se llevaba a cabo la fatiga muscular local, para la cual cada sujeto realizaba repeticiones continuas a $240^{\circ}\cdot s^{-1}$ hasta que su torque concéntrico de Q disminuía por debajo del 50 % del torque pico obtenido en la primera prueba sin fatiga. Una vez constatada la fatiga se procedía rápidamente a evaluar de nuevo el torque pico de Qcon240 en un total de 5 repeticiones. Posteriormente se volvía a fatigar de la misma forma y finalmente se medía de nuevo el torque pico de Hecc30 durante 5 repeticiones. Los sujetos recibieron apoyo verbal durante todas las pruebas y fueron informados de las acciones que debían realizar, así como del interruptor que tenían que pulsar en caso de que ocurriese alguna emergencia.

En cualquiera de las dos situaciones, los ratios H/Q se calcularon dividiendo el torque de Hecc30 entre el torque de Qcon240, tal y como se muestra en la siguiente fórmula:

$$RatioH/Q = \frac{Isquiotibiales\ Excéntricos\ 30^{\circ}/s}{Cuádriceps\ Concéntricos\ 240^{\circ}/s}$$

A continuación, mostramos de manera más resumida el protocolo llevado a cabo para la evaluación:

1. Medición de la talla.
2. Medición de la Masa corporal y otros índices corporales (BIA- TANITA).
3. Activación previa: 5 min de pedaleo sobre cicloergómetro (ERGOSECT 200 (®)); 75W-70RPM)
4. Determinación torque pico Qcon240 (5 reps; contrabalanceo).
5. Determinación torque pico Hecc30 (5 reps; contrabalanceo).
6. 10 min recuperación (descanso pasivo).
7. Inducción de fatiga local flexo-extensiones de rodilla a $240^{\circ}\cdot s^{-1}$.
8. Determinación torque pico Qcon240 (5 reps; contrabalanceo).
9. Inducción de fatiga local flexo-extensiones de rodilla a $240^{\circ}\cdot s^{-1}$
10. Determinación torque pico Hecc30 $\cdot s$ (5 reps; contrabalanceo).

5.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión V.24 (IBM(®)). En el presente trabajo todos los datos se presentan como media \pm desviación estándar. Se realizó la prueba Kolmogorov-Smirnov sobre todas las variables a fin de determinar que todas ellas seguían una distribución normal. Dado que todas las variables objeto de análisis siguieron ese tipo de distribución, se aplicó la correspondiente metodología paramétrica. En este sentido, se aplicó un análisis multivariable de la varianza en el que se contrastaron factores como la fatiga (presencia o no de la misma) y las distintas posiciones angulares de medición. En cualquier caso, se estableció un intervalo de confianza del 95% asumiendo diferencias significativas con valores de $p \leq 0.05$.

6. RESULTADOS

Tras la realización de las mediciones, observamos que los ángulos en los que tuvieron lugar los torques pico de Qcon240 con y sin fatiga local previa a la medición fue de $59.6^\circ \pm 4.9^\circ$ y $63.2^\circ \pm 5^\circ$ respectivamente. En cuanto a los H, los ángulos en los cuales se obtuvieron los torques pico de Hecc30 con y sin fatiga local previa fueron $18.5^\circ \pm 7.6^\circ$ y $16.3^\circ \pm 10.7^\circ$ respectivamente.

A continuación, mostramos la siguiente tabla de estadísticos descriptivos, en la que podemos comprobar los valores de fuerza referidos a la acción de Qcon240 y de Hecc30, referentes al torque pico y a las angulaciones específicas de 20° y 10° de flexión de rodilla con y sin fatiga muscular local previa. De la misma forma, se muestran también los datos de fuerza referentes al ratio H/Q.

Tabla 1.

Principales resultados del estudio

			Torque Pico	20	10
Fuerza Q N·m	Sin fatiga	Media	143.9*	78.9	68.8
		Desv est	15.8	16.8	17.6
	Fatiga local	Media	126.2	62.9	51.8
		Desv est	19.2	26.7	26.1
Fuerza H N·m	Sin fatiga	Media	195.7	184.6	158.6
		Desv est	28.4	29.7	36
	Fatiga local	Media	184.2	166.2	149.5
		Desv est	28.4	29.7	36.0
Ratio N·m	Sin fatiga	Media	1.4	2.4	2.4
		Desv est	0.1	0.6	0.6
	Fatiga local	Media	1.5	3.1	3.3*
		Desv est	0.2	1.5	1.3

* $p \leq 0.05$. Valores significativamente superiores en el contraste con el resto de valoraciones para este grupo muscular.

El torque pico para Q sin fatiga fue de 143.9 N·m mientras que cuando aplicamos la fatiga fue de 126.2 N·m, esto refleja un descenso significativo ($F=6.067;p=0.022$). En cuanto a la fuerza de Q en 20° observamos un valor de 78.9 N·m en ausencia de fatiga y de 62.9 N·m tras la aplicación de ésta. En 10 grados se obtuvo un valor de 68.8 N·m sin fatiga mientras que con fatiga ese valor fue de 51.8 N·m. Como vemos, en los tres valores se produce un descenso de fuerza cuando se aplica la fatiga local, aunque sólo es en el valor del toque pico donde este descenso puede considerarse significativo. También observamos cómo se produce un descenso de fuerza de la acción concéntrica de los Q a medida que nos acercamos a posiciones cercanas a la extensión de rodilla.

En cuanto a los H, el valor de torque pico sin fatiga fue de 195.7 N·m, mientras que cuando se aplicó la fatiga este valor fue de 184.2 N·m. La fuerza en 20° de flexión de rodilla fue de 184.6 N·m, mientras que cuando aplicamos fatiga se redujo a 166.2 N·m. En la posición de 10° también se produjo una reducción de fuerza, puesto que sin fatiga se obtuvo como valor de torque pico 158.6 N·m, mientras que con fatiga este valor fue de 149.5 N·m. Volvemos a observar una reducción de las tres variables analizadas tras la aplicación de fatiga muscular local, aunque ninguno de los cambios pueden considerarse significativos. Al igual que ocurre con los Q, observamos una reducción de fuerza en Hecc30 a medida que nos acercamos a la extensión de rodilla.

El ratio H/Q mostró unos valores referidos al torque pico de 1.4 N·m en ausencia de fatiga, sin embargo este ratio aumentó a 1.5 N·m tras la aplicación de la fatiga muscular local. En cuanto a la angulación específica de 20° se obtuvo un ratio de 2.4 N·m en ausencia de fatiga y de 3.1 tras la aplicación de la misma. Finalmente, en cuanto a la angulación de 10°, se observó un valor de 2.4 N·m, valor que ascendió hasta los 3.3 N·m tras la aplicación de la fatiga muscular local, llegando a considerarse como un aumento significativo ($F=5.103;p=0.034$). Estos valores nos muestran que tras la aplicación de la fatiga muscular local se produce un aumento del ratio H/Q ocasionado por una mayor disminución de fuerza en mayor proporción de los Q en relación con los H, llegando a ser significativa cuando se analiza este ratio en la angulación específica de 10° de flexión de rodilla, es decir, cercana a la extensión.

7. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo era calcular ratios H/Q y contrastar los resultados obtenidos al considerar ciertas angulaciones de interés con respecto a todo el rango de movimiento, analizando además el efecto que la fatiga muscular local podría producir en jugadores de fútbol.

La característica más destacada, aunque a la vez necesaria, del presente trabajo ha sido la utilización de un dinamómetro isocinético para llevar a cabo las mediciones, tanto en ausencia de fatiga como tras la aplicación de fatiga muscular local, con el fin de analizar el riesgo lesional existente mediante un indicador como el ratio H/Q.

Como resultados generales, hemos observado unas mínimas diferencias al emplear ratios H/Q específicos centrados en ciertas angulaciones con respecto a ratios H/Q generales que tienen en cuenta todo el rango de movimiento. También hemos comprobado cómo a medida que nos acercamos a posiciones cercanas a la extensión de rodilla se va produciendo una disminución de fuerza tanto de H como Q. La aplicación de fatiga muscular local ha dado como resultado una disminución en la producción de fuerza en ambos grupos musculares, aunque esta disminución parece no ser proporcional, viéndose los Q más afectados a la hora de producir fuerza que los H. Únicamente hemos observado como significativos los cambios producidos en la fuerza ejercida por los Q en cuanto a valores de torque pico tras la aplicación de la fatiga y los cambios producidos en el ratio H/Q específico en 10°, donde se observa un incremento significativo del mismo tras la aplicación de fatiga.

En cuanto al ángulo de obtención del torque pico de Qcon240, en nuestro trabajo ha sido el ángulo correspondiente a 59.6° en ausencia de fatiga y de 63.2° tras la aplicación de la misma. En cuanto a Hecc30 este ángulo de obtención del torque pico ha sido de 18.5° sin fatiga y de 16.3° con fatiga. Los autores Knapik, Wright, Mawdsley y Braun (1983), aportan que por lo general, los Q ejercen su torque máximo cerca de los 65° de flexión de rodilla, lo cual concuerda con nuestros resultados, sin embargo aportan que los H lo ejercen aproximadamente cerca de los 30° de flexión de rodilla, lo cual parece alejarse un poco de nuestros resultados, aunque pensamos que el tipo de contracción y la velocidad a la que se realiza la misma pueden resultar determinantes a la hora de tener en cuenta estos valores.

Al igual que en nuestro estudio, en el que hemos centrado especial atención en ratios H/Q en posiciones cercanas a la extensión de rodilla (20° y 10° de flexión de rodilla), varios autores han llevado a cabo investigaciones similares. Pellicer et al. (2015) compararon el ratio H/Q funcional en 5 posiciones diferentes (40°, 50°, 60°, 70° y 80°) de la flexión de rodilla a dos velocidades distintas (60°·s⁻¹ y 180°·s⁻¹) en 14 jugadores y 14 jugadoras de fútbol de niveles similares con el objetivo de comprobar si existían diferencias entre: sexo, pierna dominante respecto a no dominante y ángulos específicos. Observaron que los ratios fueron de media un 53.4% más bajos en posiciones cercanas a la flexión de rodilla.

Por otro lado, De Ste Croix et al. (2017) calcularon el ratio H/Q funcional en las angulaciones específicas de 15°, 30° y 45° de flexión de rodilla a 3 velocidades (60°·s⁻¹, 120°·s⁻¹ y 240°·s⁻¹). Utilizaron una muestra compuesta por 110 jugadores. Estos autores también observaron que a medida que la rodilla se extiende y la velocidad aumenta se produce un aumento del ratio H/Q funcional.

En nuestro caso hemos analizado únicamente las angulaciones específicas de 20° y 10° de flexión de rodilla, tomando únicamente la velocidad de 240°·s⁻¹ para la acción concéntrica de Q y de 30°·s⁻¹ para la acción excéntrica de H. No hemos observado diferencias significativas entre ambos ratios pertenecientes a ambas angulaciones. Sin embargo, hemos comprobado que a medida que nos acercamos a posiciones más extendidas de la rodilla, tiene lugar un descenso en la producción de fuerza tanto de H como de Q. El hecho de no haber incluido en nuestro estudio un análisis específico de angulaciones cercanas a los 90° de flexión de rodilla es posible que haya podido limitar un poco esta comparación realizada en otros estudios.

En cuanto a la aplicación de fatiga, Greig (2008) realizó un estudio que tenía como objetivo principal corroborar cómo la fatiga específica del fútbol reduciría el torque de H excéntricos y Q concéntricos. Para ello utilizó un protocolo en cinta rodante específico de fútbol y llevó a cabo mediciones isocinéticas a 3 velocidades (60°·s⁻¹, 180°·s⁻¹ y 300°·s⁻¹) a 10 jugadores profesionales cada 15 minutos. Observó que la fuerza de los H disminuía en función del tiempo pero que, sin embargo, el toque pico de los Q se mantuvo durante toda la duración del protocolo independientemente de la velocidad de movimiento. Por otro lado, Delextrat et al. (2010) realizaron un estudio similar analizando ratios H/Q funcionales a dos velocidades (60°·s⁻¹ y 180°·s⁻¹) a 8 jugadores

profesionales. Observaron una disminución en la relación funcional H/Q en la pierna dominante a ambas velocidades tras la aplicación de un protocolo de fatiga inducida por una prueba de campo.

En nuestro estudio, a diferencia que en los dos anteriormente mencionados, hemos optado por la aplicación de fatiga muscular local en lugar de fatiga muscular general. Como resultados más destacables hemos observado una disminución de fuerza tras la aplicación de la fatiga tanto en los cuádriceps como en los isquiotibiales, llegando incluso a ser significativa la reducción del pico de torque de los cuádriceps (143.9 N·m frente a 126.2 N·m). A diferencia que en los estudios anteriores, hemos observado un aumento de la relación funcional H/Q tras la aplicación de fatiga, lo que pensamos que se debe a que este tipo de fatiga ocasiona una mayor disminución en la producción de fuerza de los Q en proporción a la disminución de fuerza que sufren los H, lo cual parece ir en contra de los resultados obtenidos por Greig (2008) en los que observó una disminución en la fuerza de los H pero no en la de los Q.

Sin embargo, también hemos encontrado similitudes con otros estudios que aplican fatiga muscular local como el de Wright et al. (2009) que tiene como objetivo principal evaluar el efecto de la fatiga muscular local en la relación H/Q funcional. Emplearon una muestra de 8 jugadores de fútbol y evaluaron el torque pico concéntrico de Q y excéntrico de H a $120^{\circ}\cdot s^{-1}$ antes y después de la fatiga, la cual consistió en 50 repeticiones máximas concéntricas de flexión/extensión de rodilla. Estos autores observaron un aumento significativo (0.88 frente a 1.08) en la relación H/Q funcional tras la aplicación de fatiga. Como podemos comprobar, los resultados observados por estos autores parecen ir en línea con los nuestros, ya que en ambos casos se produce un aumento del ratio H/Q tras la aplicación de fatiga aunque, debemos tener en cuenta que las velocidades empleadas en ambos casos son diferentes, lo cual puede influir también en esta comparación de resultados. En nuestro trabajo, este aumento de la relación H/Q llega incluso a ser significativo cuando analizamos la angulación específica de 10° (2.4 N·m frente a 3.3 N·m).

En cuanto a las limitaciones de nuestro trabajo destacamos el escaso número de sujetos evaluados, pensamos que un mayor número de participantes nos habrían proporcionado una mayor información con la que, posiblemente hubiésemos obtenidos resultados mucho más concluyentes.

8.CONCLUSIONES

Son varias las conclusiones que extraemos de este trabajo. En primer lugar, y aunque no se han encontrado diferencias significativas en la mayoría de contrastes en ratios específicos, éstos son superiores al ratio general. En este sentido y bajo situación de fatiga muscular local sí se dieron diferencias significativas en relación con el ratio específico medido en una angulación de 10° de flexión de rodilla, siendo éste superior al ratio general. No obstante, cabe resaltar la disminución de fuerza generada tanto por Q como H a medida que nos acercamos a posiciones cercanas a la extensión de rodilla.

9. NUEVAS PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

Son varias las propuestas que tenemos para el futuro, entre ellas priorizamos la ampliación de la muestra y la distinción, si fuese posible entre jugadores y jugadoras de fútbol. También creemos que el empleo de un tipo de fatiga muscular general que se caracterizase por ser específica del fútbol enriquecería bastante el trabajo, ya que nos permitiría obtener resultados con los que podríamos realizar nuevas comparaciones. Otra propuesta interesante sería el análisis del músculo vasto interno durante la extensión de rodilla puesto que, de los músculos del cuádriceps es el que se mantiene activo en las últimas posiciones cercanas a la extensión, por lo que la capacidad de generar fuerza en este músculo podría resultar clave para la prevención de lesiones. Por último, y dado que la tendencia en el ratio H/Q es su aumento en los grados de interés, sería interesante comprobar si la disminución de dichos ratios en estos grados pudiera significar la presencia de un factor de riesgo.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aagaard,P., Simonsen,E.B., Trolle,M., Bangsbo,J., y Klausen,K. (1995). Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: Influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode. *Acta Physiologica Scandinavica*, 154(4), 421-427.
- Ayala,F., Sainz de Baranda,P., de Ste Croix,M., y Santonja,F. (2012). Validez y fiabilidad de los ratios de fuerza isocinética para la estimación de desequilibrios musculares. *Apunts Medicina de l'Esport*, 47(176), 131-142.
- Barbany,J. (2002). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*. Barcelona (España): Paidotribo.
- Beijsterveldt, A.M., Port, I.G., Vereijken,A.J., y Backx,F.J. (2014). Risk Factors for Hamstring Injuries in Male Soccer Players: A Systematic Review of Prospective Studies. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23, 253-262.
- Croisier,J.L. (2004). Factors Associated with Recurrent Hamstring Injuries. *Sports Medicine*, 34(10), 681-695.
- Croisier,J.L., Ganteaume,S., Binet,J., Genty,M., y Ferret, J.M. (2008). Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players. *The American Journal of Sport Medicine*, 36 (8), 1469-1475.
- De Hoyo,M., Naranjo,O.J., Carrasco,L., Sañudo,B., Jiménez,B.J., y Domínguez,C.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.
- Delextrat,A., Gregory,J., y Cohen,D. (2010). The Use of the Functional H:Q Ratio to Assess Fatigue in Soccer. *International Journal of Sport Medicine*, 31, 192-197.
- De Mello,A.A., Arnosti,V.N., Marche,A.L., Exel,S.J., Vaz,M.A., y Augusto,C.S. (2017). Knee Isokinetic Torque Imbalance in Female Futsal Players. *Revista Brasileira do Medicina do Esporte*, 23(5), 352-356.
- De Ste Croix,M., ElNagar,Y., Iga,J., Ayala,F., y James,D. (2017). The impact of joint angle and movement velocity on sex differences in the functional hamstring/quadriceps ratio. *The Knee*, 24, 745-750.

- Dvorak,J., y Junge,A. (2000). Football injuries and physical symptoms. *American Journal of Sport Medicine*, 28(5), 3-9.
- Ekstrand,J., Askling,C., Magnusson,H., y Mithoefer,K. (2013). Return to play after thigh muscle injury in elite football players: implementation and validation of the Munich muscle injury classification. *British Journal of Sports Medicine*, 47, 769-774.
- Elis,E., Streyl,M., Linnenbecker,S., Thorwesten,L., Völler,K., y Rosenbaum,D. (2004). Characteristic plantar pressure distribution patterns during soccer-specific movements. *The American Journal of Sport Medicine*, 32(1), 140-145.
- Engebretsen,A.H., Myklebust,G., Holme,I., Engebretsen,L., y Bahr,R. (2010). Intrinsic risk factors for hamstring injuries among male soccer players: a prospective cohort study. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(6), 1147-1153.
- Evangelidis,P.E., Gerard Pain,M.T., y Folland,J. (2014). Angle-specific hamstring-to-quadriceps ratio: A comparison of football players and recreationally active males. *Journal of Sport Sciences*, 33(3), 309-319.
- Fuller,C.W., Ekstrand,J., Junge,A., Andersen,T.E., Bahr,R., Dvorak,J.,...Meeuwisse,W.H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *British Journal of Sport Medicine*, 40, 193-201.
- Greig,M. (2008). The Influence of Soccer-Specific Fatigue on Peak Isokinetic Torque Production of the Knee Flexors and Extensor. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(7), 1403-1409.
- Häggglund,M., Waldén,M., Ekstrand,J. (2013). Risk Factors for Lower Extremity Muscle Injury in Professional Soccer: The UEFA Injury Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 41: 327-335.
- Heiderscheit,B.C., Sherry,M.A., Silder,A., Chumanov,E.S., y Thelen,D.G. (2010). Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), 67-81.

- Henderson,G., Barnes,C.A., y Portas,M.D. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 13(4), 397-402.
- Hopkins,W.G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Journal of Sport Medicine*, 30, 1-15.
- Knapik,J.J., Wright,J.E., Mawdsley,R.H., y Braun,J. (1983). Isometric, isotonic, and isokinetic torque variations in four muscle groups though a range of joint motion. *Physical Therapy*, 63(6), 938-947.
- Koulouris,G., y Connell,D. (2003). Evaluation of the ham-string muscle complex following acute injury. *Skeletal Radio*, 32(10), 582-589.
- Lee,W.Y., Mok,K.M., Chan,C.K., Yung,S.H., y Chan,K.M. (2017). Eccentric hamstring strength deficit and poor hamstring-to-quadriceps ratio are risk factors for hamstring strain injury in football: A prospective study of 146 professional players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, S1440-2440(17), 31822-4.
- Llana, S., Pérez, P., y Lledó, E. (2010). La epidemiología del fútbol: una revisión sistemática. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(37), 22-40.
- Marqués, J.D., Calleja,G.J., Arratibel,I., y Terrados,N. (2016). Fatiga y daño muscular: un proceso complejo. *Revista de Preparación Física en el Fútbol*. Recuperado de:https://www.researchgate.net/publication/314239442_FATIGA_Y_DANO_MUSCULAR_EN_FUTBOL_UN_PROCESO_COMPLEJO
- Mendiguchia,J., Alentorn-Geli,E., y Brughelli,M. (2012). Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction?. *British Journal of Sport Medicine*, 46(2), 81-85.
- Mueller,H.W., Schamasch,P., Blottner,D., Swaerd,L., Goedhart,E., Ueblacker,P.,...y Kerkhoffs,G.M. (2013). Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47, 342-342.

- Navarro,E., Chorro,D., Torres,G., García,C., Navandar,A., y Veiga,S. (2015). A review of risk factors for hamstring injury in soccer: a biomechanical approach. *European Journal of Human Movement*, 35, 52-74.
- Nilstad, A., Andersen,T.E., Bahr,R., Holme,I., Steffen,K. (2014). Risk factors for lower extremity Injuries in Elite Female Soccer Players. *The American Journal of Sport Medicine*, 42, 940-948.
- Noya, J., y Sillero, M. (2012a). Epidemiología de las lesiones en el fútbol profesional español en la temporada 2008-2009. *Archivos de Medicina del Deporte*, 29(150), 750-766.
- Noya, J., y Sillero, M. (2012b). 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.
- Opar, D.A., Williams,M.D., Timmins,R.G., Dear,N.M., y Shield,A.J.(2013). Hamstring Strain Injuries: Factors that Lead to Injury and Re-Injury. *Sports Medicine*, 42(3), 209-226.
- Pellicer,C.M., Serra,A.P., Cabeza,R.R., Pardo,A., Aranda,R., y González,L.M. (2015). Comparison of conventional hamstring/quadriceps ratio between genders in level-matched soccer players. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 10 (1), 14-18.
- Petersen,J., y Hölmich,P. (2005). Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *British Journal of Sport Medicine*, 39(6), 319-323.
- Rodriguez, L.P., y Gusi, N. (Ed). (2002). *Manual de prevención y rehabilitación de lesiones deportivas*. Madrid, España: Síntesis.
- Romero, D., y Tous, J. (2010). *Prevención de lesiones en el deporte. Claves para un rendimiento óptimo*. Madrid, España: Médica Panamericana.
- Singer, R.N. (1986). *El aprendizaje de las acciones motrices en el deporte*. Barcelona, España: Hispano Europea.

- Small,K., McNaughton,L., Greig,M., y Lovell,R. (2009). Effect of timing of eccentric hamstring strengthening exercise during soccer training: implications for muscle fatigability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1077-1083.
- Witvrouw,E., Danneels,L., Asselman,P., D'Have,T., y Cambier,D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *The American Journal of Sport Medicine*, 31(1), 41-46.
- Wright,J., Ball,N., y Wood,L. (2009). Fatigue, H/Q ratios and muscle coactivation in recreational football players. *Isokinetics and exercise science*, 17, 161-167

ANEXO



(Figura 1). Visión frontal de la posición adoptada en el dinamómetro.



(Figura 2). Visión lateral de la posición adoptada en el dinamómetro.