

Efecto de la fatiga en el ratio isquiotibiales:cuádriceps. Revisión sistemática

Juan P. Martín Martínez, Jorge Pérez Gómez, Jorge Carlos Vivas

Universidad de Extremadura.

Recibido: 22.10.2015

Aceptado: 03.05.2016

Resumen

Las lesiones deportivas conforman la principal causa por la que el proceso de entrenamiento se ve interrumpido total o parcialmente. Entre los diferentes tipos de lesión que pueden darse en cualquier disciplina deportiva, las lesiones musculares, y más especialmente las que se producen en la musculatura isquiotibial, son las más recurrentes. En este sentido, uno de los indicadores más fiables para cuantificar la descompensación muscular que produce esta lesión es el ratio isquiotibiales:cuádriceps, del cual se diferencian dos tipos: ratio convencional y ratio funcional. El objetivo de esta revisión fue buscar en la literatura científica cómo afecta la fatiga a los valores de ambos ratios que indican el riesgo de sufrir una lesión muscular. Se realizó una búsqueda electrónica en diferentes bases de datos, y un total de trece artículos publicados hasta el 19 de Mayo de 2015 fueron incluidos en el análisis bajo las palabras clave "Hamstrings", "Quadriceps", "Isokinetic", "Peak torque" y "Fatigue". Los estudios analizados revelaron un importante descenso en los valores de ambos ratios, en especial del funcional, tras la realización de diferentes protocolos de fatiga, sobretodo en aquellos que eran más específicos. Este descenso de los valores del ratio se traduce en un mayor riesgo de sufrir una lesión muscular. Además, el descenso en ambos ratios se producía por una disminución en los valores de fuerza de los isquiotibiales, especialmente durante su fase excéntrica.

Palabras clave:

Pico torque. Prevención.
Riesgo. Lesión muscular.
Fuerza.

Por tanto, los resultados obtenidos sugieren la implantación de estrategias de prevención enfocadas al retraso de la aparición de la fatiga, especialmente en la musculatura isquiotibial, y en el fortalecimiento de la misma durante la fase excéntrica del movimiento.

The influence of fatigue in hamstrings:quadriceps ratio. A systematic review

Summary

Sport injuries are considered the main cause of cessation of training process, either completely or partially. Among the different types of injuries that may be produced in any sport disciplines, muscular injuries, and more specifically hamstring injuries, are the most common. For that matter the best indicator for evaluating the muscular risk of this kind of injury produced by a muscular imbalance is the hamstrings:quadriceps ratio, of which two types can be distinguished: functional ratio and conventional ratio. The aim of this study was to search in scientific literature how the fatigue presents an influence in the values of both conventional and functional hamstrings:quadriceps ratio as an injury risk indicator. An electronic search of different databases was carried out and a total of thirteen studies published until 19th May 2015 were included in this review. The following keywords were employed: "Hamstrings", "quadriceps", "Isokinetic", "Peak torque" and "Fatigue".

Analysed studies showed a significant decrease of both ratios values, but especially functional ratio, after the fatigue protocols application. Besides, a greater decrease of both ratios were noticed when protocols were more specific. This fact means a greatest risk of muscular injury. In addition, the fall in both ratios levels were produced by a decrease in hamstrings strength values, in particular during the eccentric phase of movement.

Key words:

Peak torque. Prevention.
Risk. Injury muscular.
Strength.

Hence, our results suggest that it would be important to develop an injury prevention strategy focused on delay fatigue, specially in hamstrings, as much as possible and improve hamstrings strength during the eccentric phase of movement.

Correspondencia: Juan Pedro Martín Martínez

E-mail: jpmartinm19@hotmail.com

Introducción

Las lesiones deportivas son la principal causa de interrupción del entrenamiento, y en torno a un 30% están relacionadas con lesiones musculares¹.

A lo largo de los años se han elaborado diferentes estrategias para prevenir este tipo de lesiones², desde modelos teóricos como el de Van Machelen *et al.*³ hasta modelos más actuales⁴ que clasifican los factores que pueden influir en el riesgo de sufrir una lesión deportiva en extrínsecos e intrínsecos. Los factores extrínsecos incluyen el tipo de competición, el calzado utilizado, la superficie de juego o las condiciones ambientales. Los factores intrínsecos los conforman factores anatómicos, hormonales y neuromusculares. Otros autores también han señalado otros factores como una deficiente flexibilidad⁵, un inadecuado calentamiento⁶, la existencia de lesiones previas⁷ y la fatiga^{8,9} como factores de riesgo para sufrir una lesión.

Entre las más comunes dentro de la población deportista se encuentra la lesión en la musculatura isquiotibial¹⁰, un complejo musculotendinoso formado por diferentes músculos (semitendinoso, semimembranoso y bíceps femoral) que actúan de manera conjunta¹¹ y que presenta una alta incidencia de lesión en deportes que requieren sprints máximos, golpes o lanzamientos de balón, aceleraciones y cambios de dirección¹²⁻¹⁴. La lesión más común en este grupo muscular se suele producir durante una rápida extensión de la rodilla, en la cual se requiere una acción excéntrica de los isquiotibiales seguida de una deceleración de la pierna al final de la fase de balanceo en el ciclo de la técnica de carrera¹⁵. Varios estudios afirman que el riesgo de lesión en un músculo debilitado puede verse incrementado durante dichas contracciones excéntricas^{16,17}.

El ratio del pico torque de isquiotibiales y cuádriceps se ha mostrado como uno de los indicadores más fiables para cuantificar la descompensación neuromuscular que provoca esta lesión¹⁸. Ha sido demostrado que una descompensación en dicho ratio correlaciona con una mayor incidencia en las lesiones musculares del tren inferior¹⁹. Se diferencian dos tipos. El ratio convencional (H:Q) ha sido tradicionalmente determinado por el pico torque isométrico o concéntrico medido mediante un dinamómetro isocinético ($H_{con} : Q_{con}$)¹⁸. Sin embargo, debido a la función de estos músculos durante el movimiento, un nuevo ratio denominado "Dynamic Control Ratio" (DCR) ha sido propuesto por diferentes autores²⁰⁻²⁴. Se calcula como el ratio entre el pico torque en contracción excéntrica de la musculatura isquiotibial y el pico torque en contracción concéntrica del cuádriceps ($H_{ecc} : Q_{con}$). Este ratio también ha sido denominado "Funcional"²¹ o "Mixto"²⁵. Los valores del ratio H:Q de una rodilla sana oscilan entre un 50% y un 80%²⁶. Está comúnmente aceptado que un ratio H:Q medido a 60 grados partido por segundos (°/s) (1,05 radianes por segundo elevado a menos uno [$rad*s^{-1}$]) del 60% o inferior es conveniente de ser tratado y rehabilitado para evitar lesiones²⁷. Por su parte, los valores del DCR son en general más altos que los del Ratio H:Q²⁸, y estudios recientes sugieren que es más efectivo a la hora de establecer el riesgo de sufrir una lesión en los isquiotibiales²⁵. El rango óptimo del DCR fluctúa entre 0,7 y 1,0^{20,29}.

Son varios los factores que influyen en los valores de ambos ratios: angulación de la rodilla en la prueba, velocidad angular, la modalidad de-

portiva, el género³⁰ y la fatiga en las extremidades inferiores, sobretudo en fases avanzadas del juego^{9,31}. La fatiga durante el juego provoca en el deportista una reducción en la habilidad para continuar al máximo rendimiento⁹. Esto supone que si la fatiga perjudica a la capacidad para producir una fuerza muscular adecuada, la mecánica del ciclo de la carrera puede verse alterada y, en consecuencia, el riesgo de lesión en la musculatura implicada aumenta³². Por tanto, es necesario conocer en profundidad el efecto de la fatiga tanto en el ratio H:Q como en el DCR para ayudar a establecer estrategias más efectivas de prevención y rehabilitación de este tipo de lesiones³³.

Sólo hemos encontrado en nuestra búsqueda bibliográfica dos revisiones que tratasen algunos de los factores que influyen en el Ratio H:Q o DCR^{21,29}, pero ninguna incluía la fatiga. En consecuencia, el objetivo de esta revisión fue recopilar y analizar de manera exhaustiva todos los artículos que incluyesen información sobre los efectos de la fatiga en los valores del Ratio H:Q convencional y funcional.

Material y método

Estrategias de búsqueda en bases de datos electrónicas y de selección de artículos

Para la recopilación de los artículos que analizamos en esta revisión se utilizó el servicio en línea de información científica "Web of Science", a partir del cual se seleccionaron tres importantes bases de datos: *Web of Science Core Collection*, *Medline* y *Scielo Citation Index*. Dos investigadores examinaron de manera independiente cada una de estas bases de datos utilizando las siguientes palabras clave: "Hamstrings", "Quadriceps", "Isokinetic", "Peak torque" y "Fatigue", y se recopilaron todos los estudios publicados hasta el 19 de Mayo de 2015.

Se identificaron 45 artículos (Figura 1), y ambos autores procedieron a la lectura del resumen o artículo completo, para determinar si cumplían o no los criterios de inclusión y de exclusión. Los criterios de inclusión eran: (a) Se aplicaban protocolos para inducir a los sujetos a fatiga; (b) Población adulta (+18 años); (c) Empleo de Dinamómetro Isocinético para la determinación de la fuerza isocinética en cuádriceps e isquiotibiales; (d) Artículo escrito completamente en inglés. Los artículos fueron excluidos si cumplían con alguno de los siguientes criterios de exclusión: (a) Población con alguna patología o enfermedad; (b) Artículo Repetido (c) No incluían valores de ninguno de los ratios ni proporcionaban datos con los que poder calcularlos. Los conflictos entre los dos investigadores en cuanto a este análisis fueron debatidos para unificar los criterios; y un tercer investigador resolvió aquellas cuestiones en las que no hubo consenso.

El nivel de evidencia fue establecido mediante las guías del "Dutch Institute for Healthcare Improvement" (CBO)³⁴. Los resultados aparecen reflejados en la Tabla 1.

Los datos que se extrajeron de cada estudio fueron los siguientes: características de la muestra y protocolos de intervención (Tabla 1), procedimientos en los test isocinéticos (Tabla 2) y resultados en las pruebas aplicadas en cada investigación (Tablas 3 y 4).

Tabla 1. Características de la muestra, protocolos de intervención y nivel de evidencia.

Estudio	Año	Características de la muestra				Protocolo intervención	Nivel de evidencia
		Tamaño muestra (n)	Edad (años) y género	Altura (cm)	Peso (kg)		
Castelo-Oliveira <i>et al.</i> ⁴⁵	2009	16 (M)	22 ± 2,6	173,8 ± 27,9	79,6 ± 10,3	Carrera tapiz rodante	C
Cohen <i>et al.</i> ³⁵	2015	9 (M)	25,3 ± 0,8	178,8 ± 2,9	77,0 ± 3,7	LIST	C
Coratella <i>et al.</i> ¹¹	2014	22(M)	20,1 ± 2,4			LIST	C
Delextrat <i>et al.</i> ³⁶	2013	14 (F)	26,1 ± 4,6	168 ± 12	62,7 ± 5,5	LIST (modificado)	C
Delextrat <i>et al.</i> ⁴⁶	2012	9 (F)	24,3 ± 4,1	173 ± 7,9	65,1 ± 10,9	Semana estándar	C
Greco <i>et al.</i> ⁴¹	2013	22 (M)	23,1 ± 3,4	178,0 ± 8,0	73,4 ± 7,4	PEIEF	C
Jones <i>et al.</i> ³⁸	2015	20 (M)	21,8 ± 2,3	172,1 ± 6,2	68,4 ± 9,1	SAFT ⁹⁰	C
Koller <i>et al.</i> ⁴⁴	2006	16 (14M-2F)	41		79	Maratón	C
McIntyre, <i>et al.</i> ³⁹	2012	10 (M)	28 ± 7		79 ± 5	Prueba submáxima cicloergómetro	C
Olyaei <i>et al.</i> ⁴³	2006	32 (M)	24,89 ± 4,5		67 ± 8	PI	C
Rahnama <i>et al.</i> ⁹	2010	13 (M)	23,3 ± 3,9	178 ± 0,05	74,8 ± 3,6	PEIEF	C
Small <i>et al.</i> ⁴⁷	2010	16 (M)	21,3 ± 2,9	185 ± 8,7	81,6 ± 6,7	SAFT ⁹⁰	C
Wright <i>et al.</i> ³³	2009	8 (M)	22 ± 2,3		85 ± 3,3	PI	C

Nota. Valores Medios ± Desviación estándar; LIST: *Loughborough Intermittent Shuttle Test*; PEIEF: Protocolo Ejercicio Intermitente Específico Fútbol; PI: Protocolo Isocinético; M: Masculino; F: Femenino; C: Estudios no Comparativos (Niveles de evidencia basados en las indicaciones del CBO).

Tabla 2. Características Test Isocinéticos.

Estudio	Calentamiento	Rango Mvto.	Pierna	Con_Q	Con_H	Ecc_H	Rec.(min)	V.A.(rad*s ⁻¹)
Castelo-Oliveira, <i>et al.</i> ⁴⁵	5' en cicloergómetro a 70 W	70°		5	5	5	5	1,05 3,14
Cohen <i>et al.</i> ³⁵	10' cicloergómetro a 70 W 2 x 30" estiramiento estático H y Q	10°-90°	Dominante	2x5	2x5	2x5	2	2,09
Coratella <i>et al.</i> ¹¹			Ambas	3	3	3	2	1,05 3,14 5,24
Delextrat <i>et al.</i> ³⁶	10' cicloergómetro, con 5 esprines en los últimos 2'	0-90°	Ambas	5	-	5	2	2,09
Delextrat <i>et al.</i> ⁴⁶	30' trote, movimientos específicos baloncesto, aceleraciones y estiramientos activos		Dominante	3	3	-		1,05
Greco <i>et al.</i> ⁴¹		70°	Dominante	5	5	5	5	1,05 3,14
Jones <i>et al.</i> ³⁸	5' en cicloergómetro a 60 W		Ambas	3	-	3	0,3	1,05
Koller <i>et al.</i> ⁴⁴	10' cicloergómetro	0°-110°	Ambas	4	4	4		1,05
McIntyre <i>et al.</i> ³⁹		90°	Dominante	3	3		1	3,14
Olyaei <i>et al.</i> ⁴³	5' (Indefinido)	10°-90°	Ambas					2,09
Rahnama <i>et al.</i> ⁹	5' cicloergómetro a 60 revoluciones*min ⁻¹ , 10' estiramiento estático y 2 repeticiones submáximas	0°-90°	Ambas	3	3	3	1	1,05 2,09 5,24
Small <i>et al.</i> ⁴⁷	5' cicloergómetro a 60 W, 5' estiramiento estático y dinámico, 5' trotando en familiarización con el SAFT	0°-90°	Dominante	3	3	3	1	2,09
Wright <i>et al.</i> ³³	5' tapiz rodante, estiramientos y 5 repeticiones submáximas	10°-90°	Dominante	5	5	5	0,1	2,09

H: Isquiotibiales; Q: cuádriceps; Con_Q: número de repeticiones máximas en contracción concéntrica del cuádriceps; Con_H: número de repeticiones máximas en contracción concéntrica isquiotibiales; Ecc_H: número de repeticiones máximas en contracción excéntrica isquiotibiales; Rec.(min): recuperación entre series en minutos; V.A: Velocidad Angular.

Tabla 3. Resultados del Ratio H:Q y DCR para pierna dominante.

Estudio	V.A. (rad*s ⁻¹)	Ratio H:Q		DCR		Efecto	Variación (%)	
		Pre	Post	Pre	Post		Ratio H:Q	DCR
Castelo-Oliveira et al. ⁴⁵	1,05 3,14	0,51 0,67	0,52 0,68	0,78 1,14	0,77 1,05	X ↓+		-8
Cohen et al. ³⁵	2,09			1,11	0,98	↓+		-12
Coratella et al. ¹¹	1,05	0,61 ± 0,07	0,60 ± 0,10	0,68 ± 0,07	0,66 ± 0,12	X		
	3,14	0,67 ± 0,07	0,68 ± 0,12	0,98 ± 0,14	0,88 ± 0,17	↓+		-10
	5,24	0,69 ± 0,07	0,71 ± 0,15	1,29 ± 0,13	1,20 ± 0,20	↓+		-7
Delextrat et al. ³⁶	2,09			0,85 ± 0,15	0,73 ± 0,13	↓+		-14
Delextrat et al. ⁴⁶	1,05	0,75 ± 0,08§	0,69 ± 0,08			↓*	-8	
		0,73 ± 0,06§	0,68 ± 0,06			↓*	-7	
Greco et al. ⁴¹	1,05	0,60 ± 0,06	0,58 ± 0,06			↓*	-3,3	
	3,14			1,29 ± 0,2	1,16 ± 0,2	↓+		-10
Jones et al. ³⁸	1,05			0,77 ± 13	0,77 ± 15	X		
	3,14			1,09 ± 20	0,98 ± 21	↓+		-10
Koller et al. ⁴⁴	1,05	0,71	0,74	0,85	0,85	X		
McIntyre, et al. ³⁹	3,14	0,62 ± 0,09	0,77 ± 0,03			↑*	24	
Olyaei et al. ⁴³	2,09			1,11	1,07	X		
Rahnama et al. ⁹	1,05	0,54	0,53			X		
	2,09	0,62 ± 0,11	0,56 ± 0,09	0,77 ± 0,13	0,67 ± 0,12	↓**	-10	-13
	5,24	0,80 ± 0,09	0,75 ± 0,07			↓*	-6,3	
Small et al. ⁴⁷	2,09	0,60	0,58	1,16	1,00	↓+		-15
Wright et al. ³³	2,09	0,62-0,90¶	0,85-1,23¶	0,78-1,00¶	0,95-1,23¶	X		

Nota. V.A: Velocidad Angular; DCR: *Dynamic Control Ratio* (H_{ecc}/Q_{con}); Ratio H:Q: H_{con}/Q_{con} ; X: sin efecto significativo en DCR y Ratio H:Q; ↓+: descenso significativo sólo del DCR ($p<0,05$); ↓*: descenso significativo sólo del Ratio H:Q ($p<0,05$); ↑*: aumento significativo sólo del Ratio H:Q ($p<0,05$); ↓**: Descenso significativo del DCR y Ratio H:Q ($p<0,05$); §: datos correspondientes al 5º y 6º día de aplicación del protocolo inductor de fatiga en este estudio, ambos medidos a la misma velocidad angular: 1,05 rad*s⁻¹; ¶: resultados expresados en oscilaciones de los valores según los autores

Tabla 4. Resultados del Ratio H:Q y DCR para pierna no dominante.

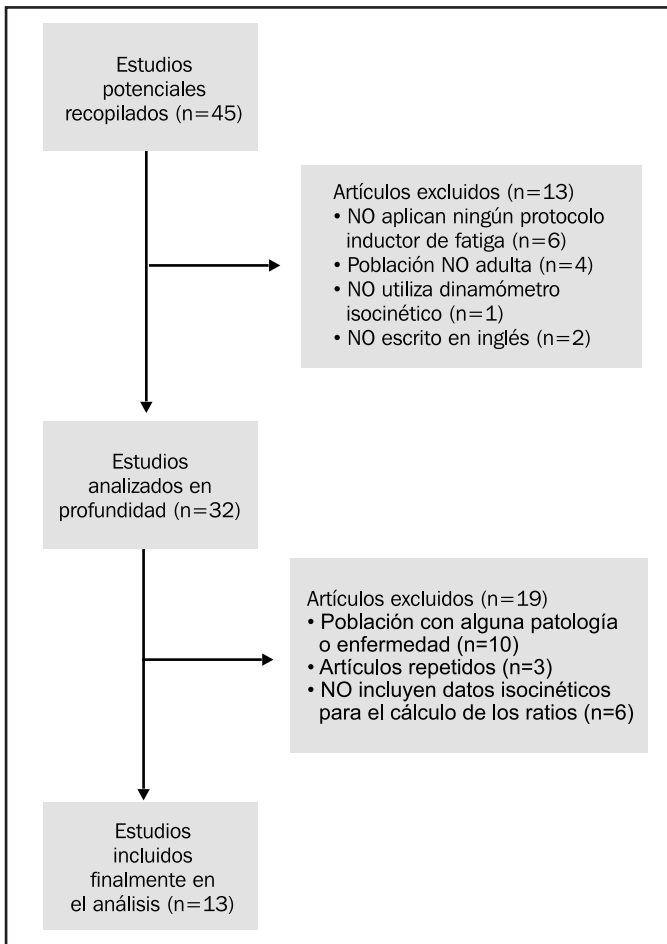
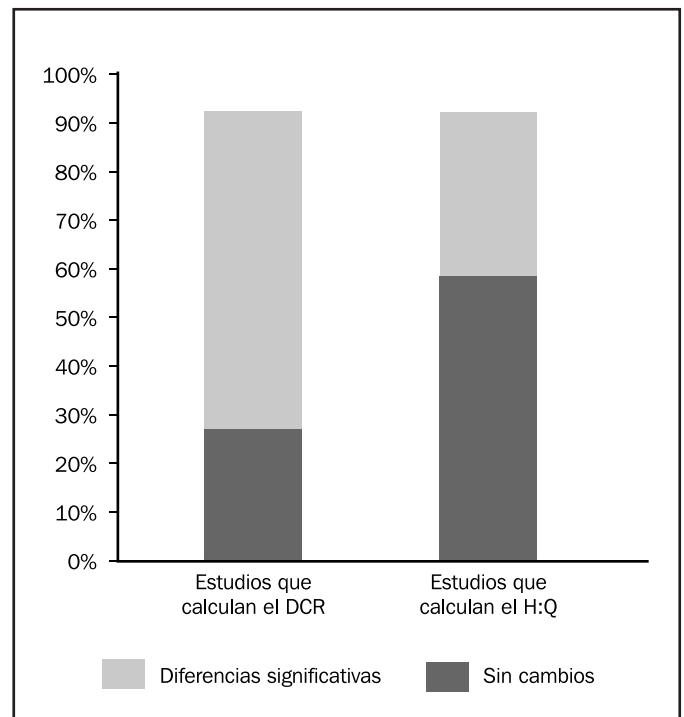
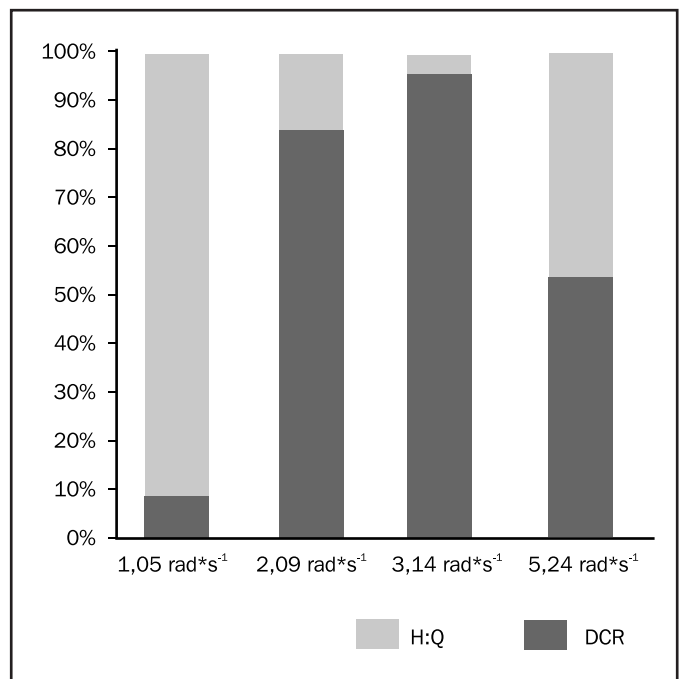
Estudio	V.A. (rad*s ⁻¹)	Ratio H:Q		DCR		Efecto	Variación (%)	
		Pre	Post	Pre	Post		Ratio H:Q	DCR
Coratella et al. ¹¹	1,05	0,59 ± 0,06	0,58 ± 0,08	0,68 ± 0,09	0,64 ± 0,10	X		
	3,14	0,64 ± 0,09	0,66 ± 0,11	0,93 ± 0,11	0,87 ± 0,17	X		
	5,24	0,69 ± 0,11	0,71 ± 0,14	1,29 ± 0,16	1,23 ± 0,26	X		
Delextrat et al. ³⁶	2,09			0,88 ± 0,17	0,81 ± 0,15	↓+		-8
Koller et al. ⁴⁴	1,05	0,73	0,78	0,89	0,91	X		
Olyaei et al. ⁴³	2,09			1,02	1,03	X		
Rahnama et al. ⁹	1,05	0,58 ± 0,07	0,56 ± 0,06			↓*	-3	
	2,09	0,62	0,59	0,75	0,68	X		
	5,24	0,79	0,75			X		

Nota. V.A: Velocidad Angular; DCR: *Dynamic Control Ratio* (H_{ecc}/Q_{con}); Ratio H:Q: H_{con}/Q_{con} ; X: sin efecto significativo en DCR y Ratio H:Q; ↓+: descenso significativo DCR ($p<0,05$); ↓*: descenso significativo Ratio H:Q ($p<0,05$).

Características de la muestra y del protocolo de intervención

Siete estudios realizaron tres tipos de protocolos basados en la simulación de la actividad realizada en un partido de fútbol. Tres^{11,35,36} aplicaron el *Loughborough Intermittent Shuttle Test* (LIST)³⁷, dos^{38,39} recurrieron al SAFT90⁴⁰, y otros dos^{9,41} realizaron un protocolo de ejercicio

intermitente específico de fútbol (PEIEF)⁴². Además, dos de ellos^{33,43} realizaron protocolos isocinéticos; y otros cuatro llevaron a cabo una maratón⁴⁴, un protocolo de carrera continua en tapiz rodante⁴⁵, una prueba submáxima en cicloergómetro³⁹ y una cuantificación de la carga de una semana de entrenamientos normal en baloncesto⁴⁶.

Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento de selección de estudios de la revisión.**Figura 2. Resumen diferencias significativas.****Figura 3. Decrementos de los valores de ambos ratios por velocidades.**

Características Test Isocinéticos

En la Tabla 2 se reflejan las características y condiciones de los test isocinéticos. Cuatro velocidades angulares distintas fueron empleadas en los diferentes artículos que se incluyeron en esta revisión. Seis estudios^{9,11,38,41,45,46} realizaron sus mediciones a 1,05 rad*s⁻¹ (60°/s); siete^{9,33,35,36,43,44,47} a 2,09 rad*s⁻¹ (120°/s), cinco^{11,38,39,41,45} a 3,14 rad*s⁻¹ (180°/s) y dos^{9,11} a 5,24 rad*s⁻¹.

Además, siete evaluaron sólo la pierna dominante^{33,35,39,41,45-47}, definida como aquella que emplearían para golpear un balón, y cinco ambas piernas^{9,11,36,43,44}.

Resultados

Los resultados obtenidos tras el análisis de los estudios recopilados en la revisión aparecen reflejados en las Tablas 3 y 4.

Pierna dominante

Dicho análisis revela que fueron más los estudios que encontraron descensos significativos en los valores del DCR que en el ratio H:Q al aplicar diferentes protocolos de fatiga (Figura 2).

Además, estos decrementos en el DCR se producían a velocidades angulares más elevadas con respecto al ratio H:Q, donde la mayoría de los descensos ocurrían a 1,05 rad*s⁻¹ (Figura 3).

LIST, SAFT y PEIEF

Los estudios que aplicaron protocolos de fatiga específicos de fútbol^{9,11,35,36,38,41,47} fueron los que mayores descensos registraron, sobretudo en lo que concierne al DCR (Tabla 3), donde todos excepto el estudio de Coratella *et al.*¹¹ mostraron descensos significativos a diferentes velocidades angulares. Por el contrario, sólo tres de los estudios que calcularon el Ratio H:Q^{9,41,47} sufrieron decrementos significativos tras la realización de dichos protocolos.

Protocolos Isocinéticos

Con respecto a los protocolos isocinéticos, ninguno de los dos estudios encontró diferencias significativas ni en el DCR ni en el Ratio H:Q en poblaciones formadas por futbolistas amateurs^{33,43}.

Otros

El estudio de Castelo-Oliveira *et al.*⁴⁵ evaluó ambos ratios a diferentes velocidades angulares antes y después de realizar un protocolo de fatiga en tapiz rodante a sujetos físicamente activos pero que no realizaban ningún deporte en concreto. Sin embargo, tan solo se halló un descenso significativo en el DCR evaluado a 3,14 rad*s⁻¹.

McIntyre *et al.*³⁹ comprobó los efectos de un protocolo de fatiga en cicloergómetro en el ratio H:Q evaluado a una velocidad angular de 3,14 rad*s⁻¹. Los resultados obtenidos en este estudio muestran un aumento significativo del 24% del ratio H:Q, algo que contrasta con los resultados del resto de artículos analizados en esta revisión.

Por último, dos artículos de Delextrat *et al.*⁴⁶ y Koller *et al.*⁴⁴ estudiaron la variación del ratio H:Q y DCR antes y después de cada entrenamiento normal de un equipo de baloncesto y después de una maratón, respectivamente. Los datos revelaron que para el primero de los estudios tan sólo en los días 5 y 6 se produjeron diferencias significativas en el ratio H:Q entre antes y después del entrenamiento. Koller *et al.*⁴⁴ evaluó el ratio H:Q y el DCR a una velocidad angular de 2,09 rad*s⁻¹, pero no se obtuvieron diferencias significativas en el posttest con respecto a la medición inicial.

Pierna no dominante

De los 13 artículos analizados en esta revisión, sólo 5 incluyeron en la valoración de la fuerza del tren inferior la evaluación de la pierna no dominante (Tabla 2); y únicamente dos de ellos encuentran diferencias significativas después de la aplicación del protocolo correspondiente. En concreto, Delextrat *et al.*³⁶ encuentra un descenso de casi el 8% en el DCR a 2,09 rad*s⁻¹ tras la realización del LIST; mientras que los resultados que proporcionan Rahnama *et al.*⁹ experimentan un descenso del 3% en el ratio H:Q tras la ejecución del PEIEF.

Discusión

El objetivo de esta revisión fue analizar y comprobar cómo afecta la fatiga a dos de los indicadores más empleados para estimar el riesgo de sufrir una lesión: el ratio convencional (H_{con}/Q_{con}) y el ratio funcional (H_{ecc}/Q_{con}).

Las recientes investigaciones explican el descenso de los valores de ambos ratios como la consecuencia del gran esfuerzo que realizan los

isquiotibiales en el control del movimiento en la carrera y en la estabilización de la articulación de la rodilla durante el contacto del pie con el suelo⁹, lo que provoca una alta fatigabilidad en esta musculatura y una reducción en la capacidad de elongación máxima del músculo^{48,49}. Otros estudios han demostrado también que la musculatura isquiotibial acusa más la fatiga durante los rápidos cambios que se producen desde la fase excéntrica hasta la fase concéntrica de una contracción, como ocurre en los golpes de balón o los esprines^{25,50,51}. Además, se ha demostrado que el mayor nivel de fatiga es alcanzado hacia el final del tiempo de juego⁵², y se estima que en torno al 26% de las lesiones por esfuerzo ocurren en los últimos 15 minutos de partido³¹. El estudio de Cohen *et al.*³⁵ muestra una deterioración en la producción de fuerza y la capacidad de desaceleración de los isquiotibiales en relación con la producción de fuerza del cuádriceps en una angulación de la articulación a la cual los isquiotibiales son más vulnerables a sufrir una lesión. Esta angulación corresponde al momento cercano a la extensión completa⁵³. La razón por la cual se explica la baja vulnerabilidad del cuádriceps a sufrir una lesión con respecto a los isquiotibiales en deportes como el fútbol es que las acciones específicas de este deporte representan un gran entrenamiento de fuerza para este grupo muscular, y por tanto el entrenamiento normal propicia una serie de adaptaciones neuromusculares contra la fatiga que no ocurre en los isquiotibiales⁹. Otra razón por la que isquiotibiales y cuádriceps no se fatigan igual es por la composición del tipo de fibras de uno y otro, la cual se ha demostrado ser muy diferente⁵². Los isquiotibiales tienden a tener una mayor cantidad de fibras de contracción rápida (tipo II) en comparación con los cuádriceps^{54,55}. Estas fibras tienen una mayor tendencia a fatigarse con respecto a las lentas y lo hacen antes, por lo que los isquiotibiales presentan un mayor riesgo de sufrir este tipo de lesiones a causa de la fatiga⁷.

Por otro lado, los músculos son más susceptibles a sufrir una lesión durante su fase excéntrica, especialmente los isquiotibiales^{7,17}. En el ratio H:Q ambos músculos están evaluados en contracciones concéntricas, por lo que recientes estudios sugieren que el DCR es más efectivo estimando el riesgo de sufrir una lesión muscular, pues sí considera la fase excéntrica^{25,36,56,57}. En nuestra revisión, la mayoría de los estudios analizados que encontraron diferencias significativas tras aplicar cualquier protocolo de fatiga, y en mayor medida, lo hicieron en el DCR en comparación con el H:Q (Figura 2).

Tres estudios^{11,35,36} evaluaron el efecto de la fatiga provocada por un Test que recoge las demandas físicas y fisiológicas del fútbol: el LIST. Todos ellos encontraron descensos significativos en los valores del DCR. Delextrat *et al.*³⁶ sugieren en base a estos resultados la necesidad de implantar métodos de prevención basados en la medición de la descompensación entre isquiotibiales y cuádriceps y en la aplicación de programas focalizados en trabajar la fase excéntrica de los isquiotibiales.

El pico torque excéntrico de los isquiotibiales, y en consecuencia el DCR experimentaron también un descenso significativo como consecuencia de la aplicación de dos protocolos de fatiga basados en el fútbol: el SAFT^{38,47} y PEIEF^{41,9}. Esto indica que los isquiotibiales ven reducida la fuerza excéntrica para decelerar el miembro inferior, especialmente en los finales de periodos en los que se dividían las pruebas. Por este motivo los autores aconsejan establecer estrategias de prevención de lesiones para reducir el impacto de la fatiga en la capacidad funcional de los isquiotibiales.

En cuanto a protocolos para inducir a fatiga más inespecíficos, Castelo-Oliveira *et al.*⁴⁵ obtuvieron diferencias significativas aplicando un protocolo de carrera continua en tapiz rodante evaluando a los sujetos a una velocidad de $3,14 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Estos autores atribuyen el descenso del DCR a los daños musculares causados por el ejercicio en el aparato contráctil, ya que al no obtenerse diferencias significativas entre la activación de la musculatura agonista y antagonista se descartaron los posibles efectos en la transmisión neural⁴⁵. También se llevaron a cabo dos protocolos isocinéticos en los que no se observaron cambios significativos en el DCR entre el pre y el post^{33,43}. Los autores achacan este resultado a la naturaleza del protocolo en cuanto a intensidad del ejercicio, ambiente y naturaleza de la carga se refiere, variables que han demostrado poder influenciar los mecanismos de la fatiga⁵⁸. Por último, tampoco se obtuvieron cambios significativos en el DCR en un estudio en el que se evaluó la fuerza isocinética del tren inferior antes y después de recorrer una maratón⁴⁴.

En lo que concierne al ratio H:Q, éste ha sido tradicionalmente empleado para determinar el riesgo de lesión¹⁸ cuando se evaluaba a una velocidad de $1,05 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ⁽²⁷⁾. Sin embargo, en nuestra revisión tan sólo cinco de los nueve artículos que calculaban el ratio H:Q convencional lo hacían a dicha velocidad. Y de entre ellos, únicamente dos encontraban diferencias significativas tras aplicar un protocolo de fatiga^{41,46}. Además, los porcentajes de descenso del ratio H:Q eran menores con respecto a aquellos del DCR (Tablas 3 y 4). Delextrat *et al.*⁴⁶ evaluaban la fuerza del tren inferior antes y después de cada entrenamiento en un equipo de baloncesto femenino. Los valores del ratio H:Q descendieron significativamente un 8% y un 7% tan sólo en los dos últimos días de la semana en los que se tomaron las mediciones. Estos resultados concuerdan con un estudio que determinó la reducción de la capacidad de trabajo en un equipo de baloncesto femenino tras finalizar un partido⁵⁹. Greco *et al.*⁴¹, por su parte, obtuvieron un descenso del 3% tras aplicar un PEIEF. Sin embargo, Rahnama *et al.*⁹ aplicaron este mismo protocolo y las diferencias significativas se obtuvieron para velocidades angulares superiores. La principal diferencia entre ambos estudios se da en la población utilizada. Greco *et al.* utilizan una población semiprofesional, mientras que Rahnama *et al.* evalúan a futbolistas amateurs, por lo que la contrariedad en los resultados podría deberse a la diferencia entre una población y otra. Los estudios de Coratella *et al.*¹¹ y de Castelo Oliveria *et al.*⁴⁵ tampoco encontraron diferencias significativas en el ratio H:Q tras realizar el LIST y un protocolo de carrera continua en tapiz rodante como protocolos de fatiga a ninguna de las velocidades angulares evaluadas. Tampoco se apreció ningún resultado significativo en el ratio H:Q en tres estudios que evaluaron la fuerza isocinética de los miembros inferiores a una velocidad de $2,09 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ^(33,44,47). Los protocolos que emplearon fueron el SAFT, un protocolo isocinético y la realización de una maratón. Finalmente, un último estudio calculó el ratio H:Q tras aplicar una prueba en cicloergómetro prolongada hasta la extenuación, donde los valores del ratio mostraron un aumento de un 24%³⁹. Los autores justifican este resultado con otro estudio en el que se concluyó que una fuerza de pedaleo determinada puede aumentar el momento de fuerza de la articulación en la flexión de la rodilla⁶⁰, pudiendo ésta ser la causante de dicho aumento.

De todos los estudios incluidos en la revisión, sólo cinco incluyeron la evaluación de la pierna no dominante. Uno de ellos encontró un

descenso del 8% en el DCR tras la realización del LIST modificado³⁶, y el otro, un ligero descenso del 3% en el ratio H:Q⁹. Son los dos únicos estudios analizados que muestran un descenso significativo en la pierna no dominante. Coratella *et al.* no encuentra ningún descenso significativo a ninguna de las tres velocidades evaluadas ni en el ratio H:Q ni en el DCR¹¹. Tampoco los encuentran Koller *et al.*⁴⁴, Olyaei *et al.*⁴³ y Rahnama *et al.*⁹. Koller evalúa tanto el ratio H:Q como el DCR, mientras que Olyaei *et al.* tan sólo evalúa el DCR. Rahnama *et al.* sólo encuentra un descenso del ratio H:Q a $1,05 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, pero para el resto de velocidades evaluadas ($2,04$ y $5,24 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$) y para el DCR no se encuentran cambios significativos. Estos resultados se explican en cuanto a que la pierna dominante es usada con frecuencia en las frenadas y los cambios de dirección, así como para driblar y golpear el balón durante los partidos. Se ha demostrado que estas acciones tienen un mayor coste energético con respecto a sólo correr, que es lo que haría la pierna no-dominante⁶¹ por lo que ésta podría ser la justificación a los resultados encontrados en esta revisión para la pierna no-dominante.

Conclusiones

La fatiga produce una reducción de los valores del ratio H:Q y del DCR, lo cual se traduce en una menor capacidad para producir fuerza de los miembros inferiores, especialmente de los isquiotibiales, y en el consecuente aumento del riesgo de sufrir una lesión.

El DCR parece ser un indicador más fiable que el ratio H:Q al considerar la fase excéntrica de los isquiotibiales, donde existe un mayor riesgo de sufrir una lesión si el músculo está fatigado o debilitado.

Los protocolos más específicos provocaban mayor fatiga en la musculatura isquiotibial y los cuádriceps, y en consecuencia un mayor descenso de los valores de ambos ratios, respecto a los test de laboratorio. Por tanto las futuras investigaciones deberían considerar un partido o prueba real como elemento que induzca la fatiga.

La pierna dominante sufría mayores descensos en cuanto al reclutamiento de fuerza y en consecuencia mayores descensos del ratio H:Q y sobretodo del DCR. Esto podría significar que se produce una mayor fatigabilidad en este miembro en comparación con la pierna no-dominante por las acciones que realiza uno en mayor medida que el otro: patear el balón, iniciar el cambio de dirección o iniciar el *sprint*. Por ello debería existir un trabajo de compensación para intentar corregir estos desequilibrios e índice de fatigabilidad en la pierna dominante.

En base a los resultados obtenidos por los distintos estudios incluidos en esta revisión, las estrategias de prevención de lesiones deberían focalizar la atención, por un lado, en el fortalecimiento de los isquiotibiales fundamentalmente durante su fase excéntrica, que es donde se concentra el mayor riesgo de sufrir una lesión. Y por el otro, en el retraso de la aparición de la fatiga para evitar desequilibrios en el reclutamiento de fuerza de ambos grupos musculares del tren inferior, pero especialmente en los isquiotibiales.

Bibliografía

1. Elkhoury GY, Brandser EA, Kathol MH, Tarse DS, Callaghan JJ. Imaging of muscle injuries. *Skeletal Radiol.* 1996;25(1):3-11. PubMed PMID: WOS:A1996TR72500002.

2. Saragiotto BT, Di Pierro C, Lopes AD. Risk factors and injury prevention in elite athletes: a descriptive study of the opinions of physical therapists, doctors and trainers. *Braz J Phys Ther*. 2014;18(2):137-43. PubMed PMID: WOS:000337944500005.
3. Vanmechelen W, Hlobil H, Kemper HCG. Incidence, severity, etiology and prevention of sports injuries - a review of concepts. *Sports Med*. 1992 Aug;14(2):82-99. PubMed PMID: WOS:A1992JE97800002.
4. Meewisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: The recursive nature of risk and causation. *Clin J Sport Med*. 2007;17(3):215-9. PubMed PMID: WOS:000246464900011.
5. Witvrouw E, D'Anneels L, Asselman P, D'HAVE T, Cambier D. Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players - A prospective study. *Am J Sports Med*. 2003;31(1):41-6. PubMed PMID: WOS:000180473300007.
6. Safran MR, Garrett WE, Seaber AV, Glisson RR, Ribbeck BM. The role of warmup in muscular injury prevention. *Am J Sports Med*. 1988;16(2):123-9. PubMed PMID: WOS:A1988T693500006.
7. Verrall GM, Slavotinek JP, Barnes PG, Fon GT, Spriggins AJ. Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *Br J Sports Med*. 2001;35(6):435-9. PubMed PMID: WOS:000172605700016.
8. Rahnama N, Reilly T, Lees A. Injury risk associated with playing actions during competitive soccer. *Br J Sports Med*. 2002;36(5):354-9. PubMed PMID: WOS:000178518400011.
9. Rahnama N, Reilly T, Lees A, Graham-Smith P. Muscle fatigue induced by exercise simulating the work rate of competitive soccer. *J Sports Sci*. 2003;21(11):933-42. PubMed PMID: WOS:000186010900007.
10. DeWitt J, Vidale T. Recurrent hamstring injury: consideration following operative and non-operative management. *Int J Sports Phys Ther*. 2014;9(6):798-812. PubMed PMID: MEDLINE:25383248.
11. Coratella G, Bellin G, Beato M, Schena F. Fatigue affects peak joint torque angle in hamstrings but not in quadriceps. *J Sports Sci*. 2015;33(12):1276-82. PubMed PMID: WOS:000353402200009.
12. Petersen J, Holmich P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med*. 2005;39(6):319-23. PubMed PMID: WOS:000229312500005.
13. Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Idoate F, Myer GD. Rectus femoris muscle injuries in football: a clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies. *Br J Sports Med*. 2013;47(6):359-66. PubMed PMID: WOS:000316674400005.
14. Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(1):40-8. PubMed PMID: WOS:000253484400006.
15. Croisier JL. Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports Med*. 2004;34(10):681-95. PubMed PMID: WOS:000224187300005.
16. Mair SD, Seaber AV, Glisson RR, Garrett WE. The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am J Sports Med*. 1996;24(2):137-43. PubMed PMID: WOS:A1996UA74800003. English.
17. Garrett WE. Muscle strain injuries. *Am J Sports Med*. 1996;24:S2-S8. PubMed PMID: WOS:A1996VW31100002.
18. Kong PW, Burns SF. Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Phys Ther Sport*. 2010;11(1):12-7. PubMed PMID: WOS:000275226300004.
19. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH, Harris JM, Vaughan L. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med*. 1991;19(1):76-81. PubMed PMID: WOS:A1991EV64300013.
20. Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstrings:Quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med*. 1998;26(2):231-7. PubMed PMID: WOS:000072713500012.
21. Coombs R, Garbutt G, Cramp M. Comparison of conventional and functional hamstring-quadriceps moment ratios through a 90 degrees range of leg motion. *J Sports Sci*. 2002;20(1):3-4. PubMed PMID: WOS:000172425000002.
22. Coombs R, Garbutt G. Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *J Sports Sci Med*. 2002;1(3):56-62. PubMed PMID: MEDLINE:24701125.
23. Dvir Z. Isokinetic strength testing: Devices and protocols. En: Krumar, S. *Muscle Strength*. Florida: CRC Press; 2004:157-76. PubMed PMID: CCC:000223658700009.
24. Dvir Z, Eger G, Halperin N, Shklar A. Thigh muscle-activity and anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Biomech*. 1989;4(2):87-91. PubMed PMID: WOS:A1989U500500004.
25. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players - A prospective study. *Am J Sports Med*. 2008;36(8):1469-75. PubMed PMID: WOS:000257985900002.
26. Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings:Quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Athl Train*. 2001;36(4):378-83. PubMed PMID: WOS:000175747800008.
27. Orchard J, Marsden J, Lord S, Garlick D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med*. 1997;25(1):81-5. PubMed PMID: WOS:A1997WD94900016.
28. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med*. 2001;22(1):45-51. PubMed PMID: WOS:000166808600008.
29. Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport*. 2008;11(5):452-9. PubMed PMID: WOS:000259345500003.
30. Andrade MDS, Barbosa De Lira CA, Koffes FDC, Mascarin NC, Benedito-Silva AA, Da Silva AC. Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio: The influence of sport modality, gender, and angular velocity. *J Sports Sci*. 2012;30(6):547-53. PubMed PMID: WOS:000302104100004.
31. Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med*. 2001;35(1):43-7. PubMed PMID: WOS:000166736200012.
32. Pinniger GJ, Steele JR, Groeller H. Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(3):647-53. PubMed PMID: WOS:000085935000015.
33. Wright J, Ball N, Wood L. Fatigue, H/Q ratios and muscle coactivation in recreational football players. *Isokinet Exerc Sci*. 2009;17(3):161-7. PubMed PMID: WOS:000270087800005.
34. Rosenbrand K, Van Croonenborg J, Wittenberg J. Guideline development. *Studies in health technology and informatics*. 2008;139:3-21. PubMed PMID: MEDLINE:18806318.
35. Cohen DD, Zhao B, Okwera B, Matthews MJ, Delestrat A. Angle-Specific Eccentric Hamstring Fatigue After Simulated Soccer. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10(3):325-31. PubMed PMID: WOS:000352335500009.
36. Delestrat A, Baker J, Cohen DD, Clarke ND. Effect of a simulated soccer match on the functional hamstrings-to-quadriceps ratio in amateur female players. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23(4):478-86. PubMed PMID: WOS:000321760100017.
37. Nicholas CW, Nuttall FE, Williams C. The Loughborough Intermittent Shuttle Test: A field test that simulates the activity pattern of soccer. *J Sports Sci*. 2000;18(2):97-104. PubMed PMID: WOS:000085356200005.
38. Jones RI, Ryan B, Todd AI. Muscle fatigue induced by a soccer match-play simulation in amateur Black South African players. *J Sports Sci*. 2015;33(12):1305-11. PubMed PMID: WOS:000353402200013.
39. McIntyre JPR, Mawston GA, Cairns SP. Changes of Whole-Body Power, Muscle Function, and Jump Performance With Prolonged Cycling to Exhaustion. *Int J Sports Physiol Perform*. 2012;7(4):332-9. PubMed PMID: WOS:000312352000007.
40. Lovell R, Knapper B, Small K. Physiological responses to SAFT90: a new soccer-specific match simulation. Verona-Ghirada Team Sports Conference Proceedings, June 2008.
41. Greco CC, da Silva WL, Camarda SRA, Denadai BS. Fatigue and rapid hamstring/quadriceps force capacity in professional soccer players. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013;33(1):18-23. PubMed PMID: WOS:000312243300003.
42. Drust B, Reilly T, Cable NT. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J Sports Sci*. 2000;18(11):885-92. PubMed PMID: WOS:000090066900005.
43. Olyaei GR, Hadian MR, Talebian S, Bagheri H, Malmir K, Olyaei M. The effect of muscle fatigue on knee flexor to extensor torque ratios and knee dynamic stability. *Arab J Sci Eng*. 2006;31(2C):121-7. PubMed PMID: WOS:000246870000011.
44. Koller A, Sumann G, Schobersberger W, Hoernagl H, Haid C. Decrease in eccentric hamstring strength in runners in the Tirol Speed Marathon. *Br J Sports Med*. 2006;40(10):850-2. PubMed PMID: WOS:000241025400015.
45. Castelo Oliveira AdS, Caputo F, Goncalves M, Denadai BS. Heavy-intensity aerobic exercise affects the isokinetic torque and functional but not conventional hamstrings:quadriceps ratios. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009;19(6):1079-84. PubMed PMID: WOS:000272367200008.
46. Delestrat A, Trochym E, Calleja-Gonzalez J. Effect of a typical in-season week on strength jump and sprint performances in national-level female basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2012;52(2):128-36. PubMed PMID: WOS:000305363200003.
47. Small K, McNaughton L, Greig M, Lovell R. The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *J Sci Med Sport*. 2010;13(1):120-5. PubMed PMID: WOS:000273858300026.
48. Hanon C, Thepaut-Mathieu C, Vandewalle H. Determination of muscular fatigue in elite runners. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(1-2):118-25. PubMed PMID: WOS:000229116400016.
49. Small K, McNaughton LR, Greig M, Lohkamp M, Lovell R. Soccer Fatigue, Sprinting and Hamstring Injury Risk. *Int J Sports Med*. 2009;30(8):573-8. PubMed PMID: WOS:000269084400004.

50. Greig M. The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. *Am J Sports Med.* 2008;36(7):1403-9. PubMed PMID: WOS:000257145300019.
51. Mjolsnes R, Arnason A, Osthaugen T, Raastad T, Bahr R. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand J Med Sci Sports.* 2004;14(5):311-7. PubMed PMID: WOS:000224067200006.
52. Woods C, Hawkins RD, Maltby S, Hulse M, Thomas A, Hodson A. The Football Association Medical Research Programme: an audit of injuries in professional football - analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med.* 2004;38(1):36-41. PubMed PMID: WOS:000188539400012.
53. Ayala F, De Ste Croix M, de Baranda PS, Santonja F. Absolute Reliability of Hamstring to Quadriceps Strength Imbalance Ratios Calculated Using Peak Torque, Joint Angle-Specific Torque and Joint ROM-Specific Torque Values. *Int J Sports Med.* 2012;33(11):909-16. PubMed PMID: WOS:000310352300009.
54. Garrett WE, Califf JC, Bassett FH. Histochemical Correlates of Hamstring Injuries. *Am J Sports Med.* 1984;12(2):98-103. PubMed PMID: WOS:A1984SH79000002.
55. Hamada T, Sale DG, MacDougall JD, Tarnopolsky MA. Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiol Scand.* 2003;178(2):165-73. PubMed PMID: WOS:000183072300010.
56. Yeung SS, Suen AMY, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med.* 2009;43(8):589-94. PubMed PMID: WOS:000268767800009.
57. Sangnier S, Tourny-Chollet C. Comparison of the decrease in strength between hamstrings and quadriceps during isokinetic fatigue testing in semiprofessional soccer players. *Int J Sports Med.* 2007;28(11):952-7. PubMed PMID: WOS:000251087700011.
58. Maluf KS, Enoka RM. Task failure during fatiguing contractions performed by humans. *J of Appl Physiol.* 2005;99(2):389-96. PubMed PMID: WOS:000230486200004.
59. Matthew D, Delextrat A. Heart rate, blood lactate concentration, and time-motion analysis of female basketball players during competition. *J Sports Sci.* 2009;27(8):813-21. PubMed PMID: WOS:000267287400004.
60. Sanderson DJ, Black A. The effect of prolonged cycling on pedal forces. *J Sports Sci.* 2003;21(3):191-9. PubMed PMID: WOS:000182107900005.
61. Reilly T. Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci.* 1997;15(3):257-63. PubMed PMID: WOS:A1997XH24100003.