

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALENCIA

“SAN VICENTE MÁRTIR”

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte



Universidad
**Católica de
Valencia**
San Vicente Mártir

***RANGO DE MOVIMIENTO ACTIVO EN LA FLEXIÓN DE CADERA
Y PREVALENCIA DE LESIONES EN ISQUIOSURALES EN JÓVENES
FUTBOLISTAS***

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR:

D. Alejandro Sanz Bayo

DIRIGIDA POR:

Dr. D. Florentino Huertas Olmedo

Dr. D. Carlos Pablos Abella

Valencia, 2020

Dr. D. Florentino Huertas Olmedo, director de tesis, Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.

Dr. D. Carlos Pablos Abella, director de tesis, Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.

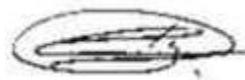
CERTIFICAN:

Que la presente tesis doctoral titulada “*Rango de movimiento activo en la flexión de cadera y la prevalencia de lesiones en isquiosurales en futbolistas jóvenes*”, ha sido realizada por D. Alejandro Sanz Bayo bajo nuestra dirección, en el Programa de Doctorado de “Ciencias de la Salud” para la obtención del título de Doctor por la Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.

Para que así conste a los efectos legales oportunos, se presenta esta tesis doctoral y se extiende la presente certificación en Valencia a 8 de junio de 2020



Dr. D. Florentino Huertas Olmedo



Dr. D. Carlos Pablos Abella

Agradecimientos

En las siguientes líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de una forma o de otra, han intervenido en la realización de la presente tesis doctoral y sin cuya colaboración y apoyo seguro que no estaría escribiendo estas palabras.

En primer lugar, y con permiso de mis directores, me gustaría nombrar a la persona que me animó a iniciar este arduo camino, a mi querida amiga la Dra. Amparo Bargues Bonet, y que debido a infortunios de la vida, no ha podido ver el final de esta andadura, pero que desde donde esté, seguro que su luz sigue iluminando. ¡Amparo, va por ti!

Mención y agradecimiento a los directores de la presente tesis. Por una parte, al Dr. Florentino Huertas, no solo por tratar de sacar lo mejor de mí a nivel académico, sino por hacer de mí una persona con una mayor perseverancia, capacidad de esfuerzo, constancia y sentido crítico. Gracias por el gran esfuerzo y tiempo dedicado. Sin duda ha supuesto para mí un padre en el ámbito académico e investigador y siempre estaré tremendamente agradecido. Y, por otra parte, al Dr. Carlos Pablos, por ser la excelente persona que me introdujo en el mundo de la investigación, guiándome y aconsejándome siempre que lo he necesitado.

No puedo olvidarme de la gente del grupo de investigación que ha puesto a mi servicio su tiempo y su sabiduría. Gracias al Dr. Rafael Ballester y al Dr. José Vicente Sánchez, os considero compañeros y amigos para siempre. También dar las gracias a los alumnos de CAFD que tanto me han ayudado durante las mediciones, así como a los clubes y participantes que nos abrieron sus puertas y nos cedieron su tiempo y recursos para hacer posible este estudio.

Mención especial a mi pareja Carolina. Gracias por aguantarme y estar siempre al pie del cañón, sobre todo en los momentos más difíciles. Sin duda eres la persona que más fácil me lo ha puesto y que más me ha ayudado. Y como no, gracias por darme en la recta final de la

tesis, lo más grande de la vida, nuestra hija recién nacida Alejandra. Sin vosotras seguro que hubiese tirado la toalla.

Por último, y sin ser menos importante, quiero agradecer a mi madre, padre, hermano y tío por el apoyo incondicional en la realización de esta tesis. Pero, sobre todo, les agradezco por educarme en todos esos valores que han hecho de mi la persona que hoy en día soy. Os quiero.

Publicación de la tesis doctoral

Sanz, A., Pablos, C., Ballester, R., Sanchez, JV., & Huertas, F. (2020). Range of motion and injury occurrence in Elite Spanish Soccer Academies. Not Only a Hamstring Shortening – Related Problem. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(7), 1924-1932. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003302> (Ver Anexo 7).



ISSN: 1064-8011 Online ISSN: 1533-4287

JCR 2018: 3.017 (Sport Sciences: 18/83 – Q1)

Índice General

<i>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</i>	26
1.1. Prefacio.	28
<i>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO</i>	32
2.1. Factores intrínsecos moduladores del rendimiento en el futbolista.	34
2.2. Flexibilidad, fuerza y control motor.	36
2.2.1. Contextualización de la amplitud de movimientos y flexibilidad en el fútbol.	36
2.2.2. Relevancia de la fuerza en el fútbol.	51
2.1.3. Factores de control motor en el fútbol.....	55
2.3. Desarrollo evolutivo de la fuerza, el control motor y la flexibilidad en las etapas formativas del fútbol.	60
2.3.1. Etapas de desarrollo dentro de las categorías de edad del fútbol base.....	61
2.3.2. Desarrollo evolutivo de la de fuerza en fútbol.	69
2.3.3. Desarrollo evolutivo del control motor en fútbol.	75
2.3.4. Desarrollo evolutivo de la flexibilidad y entrenamiento en fútbol.	79
2.4. Lesiones en el fútbol.	86
2.4.1. Definición de lesión.	86
2.4.2. Epidemiología lesiva en el fútbol.	88
2.5. Las lesiones musculares.	91
2.5.1. Anatomía y fisiología muscular.....	91
2.5.2. Definición de lesión muscular.	107
2.5.3. Clasificación (tipos y definiciones) de las lesiones musculares.	108
2.5.4. Factores de riesgo en las lesiones musculares.	113
2.5.5. Localización más frecuente de las lesiones musculares.	114

2.5.6. Lesiones en isquiosurales.	123
2.5.7. La fuerza, la flexibilidad y el control motor como factores claves en la prevención de lesiones de isquiosurales en fútbol.	147
<i>CAPÍTULO 3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS</i>	151
3.1. Objetivos.	153
3.2. Hipótesis del estudio.	154
<i>CAPÍTULO 4 MATERIAL Y MÉTODO</i>	159
4.1. Diseño del estudio	161
4.2. Muestra.	161
4.1.1. Criterios de inclusión.	162
4.1.2. Criterios de exclusión.....	164
4.1.3. Muestra del estudio.	165
4.3. Aparatos, materiales e instrumentos.	168
4.3.1. Hoja de participante.	168
4.3.2. Prueba de Elevación de la Pierna Recta (ASLR Test).....	169
4.3.3. Software de análisis de movimiento.....	170
4.3.4. Plantilla de registro de lesiones.	170
4.4. Procedimiento del estudio.	171
4.4.1. Descripción general del procedimiento.	171
4.4.2. Procedimiento de medición del ROM en el test ASLR.	175
4.4.3. Formación – entrenamiento de los investigadores.....	181
4.4.4. Procedimiento de diagnóstico y registro de las lesiones de los isquiosurales durante la temporada.	182
4.5. Variables del estudio	184
4.5.1. Variables dependientes.....	184

4.5.2. Variables independientes.....	184
4.6. Tratamiento y análisis estadístico.	185
<i>CAPÍTULO 5 RESULTADOS</i>	188
5.1. Análisis preliminares.	190
5.1.1. Comprobación de la Normalidad y Homogeneidad de Varianza.	190
5.1.2. Validez y confiabilidad Inter-evaluadores del test ASLR.	190
5.2. Rango de movimiento en flexores de cadera.	191
5.3. Lesiones en la musculatura isquiosural.	197
5.3.1. Distribución de las lesiones por grupo de edad.	198
5.3.2. Distribución de las lesiones por demarcación preferente.	201
5.3.3. Distribución de las lesiones en función de su naturaleza.	205
5.3.4. Distribución de las lesiones en función de su causa.	208
5.3.5. Distribución de las lesiones en función del contexto (entrenamiento vs. competición).	211
5.4. Diferencias en el ROM de flexión de cadera entre jugadores lesionados y no lesionados.....	214
<i>CAPÍTULO 6 DISCUSIÓN</i>	218
6.1. Rango de movimiento en flexores de cadera.	220
6.1.1. ROM de flexión de cadera en función de la dominancia de miembro inferior.....	220
6.1.2. ROM de flexión de cadera en función de los grupos de edad.	221
6.1.3. ROM de flexión de cadera en función de la demarcación preferente.....	225
6.2. Distribución de las lesiones en la musculatura isquiosural.....	227
6.2.1. Edad y lesiones en isquiosurales.	228
6.2.2. Demarcación y lesiones en isquiosurales.	230
6.2.3. Naturaleza de las lesiones en isquiosurales.	232
6.2.4. Causas de las lesiones en isquiosurales.	233

Índice General

6.2.5. Contexto de aparición de las lesiones en isquiosurales.	235
6.3. ROM de flexión de cadera en jugadores lesionados y no lesionados.	237
6.4. Magnitud de los efectos observados en el ROM y su relevancia clínica. ..	239
<i>CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES GENERALES</i>	242
7.1. Aplicaciones prácticas.	247
7.2. Limitaciones del estudio y futuras líneas.	248
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	251
<i>ANEXOS</i>	289

Índice de Tablas

Tabla 1. Estudios investigando la relación entre la flexibilidad isquiosural y la edad. _____	82
Tabla 2. Número de lesiones y días de baja total en función de la tipología lesional. Fuente: Recuperado de Noya & Sillero (2012). _____	90
Tabla 3. Estudios investigando la epidemiología de lesiones musculares en el fútbol profesional. _____	117
Tabla 4. Estudios investigando la epidemiología de lesiones en el fútbol base. _____	118
Tabla 5. Naturaleza de las lesiones sufridas. Fuente: Modificado de Price et al. (2004). _____	119
Tabla 6. Incidencia, prevalencia y naturaleza de las 4 lesiones musculares más comunes. Fuente: Modificado de Ekstrand et al. (2011). _____	124
Tabla 7. Distribución de los participantes por Clubes, Equipos y Grupo de Edad. _____	162
Tabla 8. Distribución de los jugadores excluidos en función del motivo de exclusión. _____	165
Tabla 9. Distribución de los jugadores por los grupos de edad y demarcación preferente. _____	167
Tabla 10. Distribución de los jugadores en función de su dominancia lateral de miembro inferior en cada una de las categorías de formación. _____	168
Tabla 11. Descripción de las fases del estudio. _____	172
Tabla 12. Promedio \pm SD del ROM observado en pierna dominante (D) y no dominante (ND) en función del grupo de edad. _____	191
Tabla 13. Promedio \pm SD del ROM observado en pierna dominante (D) y no dominante (ND) en función de la demarcación preferente del jugador. _____	191
Tabla 14. Distribución del porcentaje relativo (%) y número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad. _____	198
Tabla 15. Distribución del porcentaje total y número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad. _____	200
Tabla 16. Distribución del porcentaje total y número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la demarcación y el grupo de edad. _____	202
Tabla 17. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su naturaleza. _____	206
Tabla 18. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su naturaleza en los distintos grupos de edad. _____	208

Tabla 19. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su causa / tipo de acción en la que se produjo. _____	209
Tabla 20. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su causa / tipo de acción en la que se produjo en cada grupo de edad. _____	211
Tabla 21. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo. _____	212
Tabla 22. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo en cada grupo de edad. _____	213
Tabla 23. Promedio \pm SD del ROM observado en pierna dominante (D) y no dominante (ND) en función de la condición de los jugadores (Lesionados vs. No Lesionados). _____	215

Índice de Figuras

Figura 1. Propuesta de estructuración de las características físicas entorno a la fuerza muscular como capacidad física fundamental. Fuente: Recuperado de Tous (2007).	36
Figura 2. Clasificaciones de la flexibilidad. Fuente: Recuperado de Merino-Marban & Fernández-Rodríguez (2009).....	42
Figura 3. Un huso muscular (izquierda) y un órgano tendinoso de Golgi (derecha). Fuente: Modificado de Qiu & Kang (2017).	45
Figura 4. Curva carga-elongación, típica de la respuesta del músculo esquelético a un estiramiento aplicado in vivo. La rigidez del músculo se define como la pendiente de la línea de la porción lineal de la curva. Cuanto más rígido es el músculo, más pronunciada es la línea. Fuente: Recuperado de Gleim & McHugh (1997).	50
Figura 5. La frecuencia de los tipos de esfuerzo en función de su duración para un jugador de mediocampo defensivo. Los esfuerzos de menos de 7,5 segundos son los más frecuentes. Recuperado de “La preparación física en el fútbol”, de Cometti (2002), p. 29, Barcelona, España: Paidotribo.....	53
Figura 6. Efectividad del grupo de entrenamiento experimental de fuerza en comparación con el grupo de control para mejorar el pico de potencia (CMJ_{PP}) y la altura de salto (CMJ_A) durante una prueba CMJ, pruebas de sprint lineal de 10 m (V_{10}), 10–20 m (V_{10_20}) y 20 m (V_{20}), y pruebas de cambio de dirección (CDD). Fuente: Modificado de Otero-Esquina et al. (2017).	54
Figura 7. Modelo de desarrollo físico en diferentes etapas del desarrollo formativo. El tamaño de fuente se refiere a la importancia; los cuadros azules claros se refieren a periodos de adaptación preadolescentes, los cuadros azules oscuros se refieren a periodos de adaptación de los adolescentes. HMB = habilidades motrices básicas; HDE = habilidades deportivas específicas. Fuente: Modificado de Lloyd & Oliver (2012).	64
Figura 8. Incrementos en las áreas transversales de los músculos. Fuente: Modificado de Hernández Camacho et al. (2018).	66
Figura 9. Etapas de desarrollo durante las categorías de formación. PHV = peak height velocity. Fuente: Modificado de Lloyd & Oliver (2012).	67
Figura 10. Modelo teórico interactivo para la integración de factores de desarrollo relacionados con el potencial de adaptaciones y rendimiento de la fuerza muscular. Fuente: Modificado de Kraemer et al. (1989) citado en Myer et al. (2011).....	70

Figura 11. Modelo conceptual que compara los efectos del entrenamiento neuromuscular iniciado en diferentes momentos del desarrollo. “*” Representa el inicio durante la preadolescencia (Azul) y la adolescencia (Rojo) que probablemente mejorarán la capacidad motora y el rendimiento más allá del potencial natural del adulto (sin dicho entrenamiento). Fuente: Modificado de Myer et al. (2011).	72
Figura 12. Anatomía microscópica de la estructura del músculo esquelético. Fuente: Modificado de Ostrovidov et al. (2014).	92
Figura 13. En la izquierda: Unidad músculo tendón. En la derecha: Modelo de contracción muscular de tres elementos de Hill. Fuente: Modificado de Van Hooren & Bosch (2017).	94
Figura 14. Diferentes arquitecturas musculares según la disposición de las fibras musculares. Fuente: Modificado de Feher (2017).	97
Figura 15. Arquitectura funcional de los músculos flexores (isquiosurales) versus extensores (cuádriceps). Los primeros con fibras poco inclinadas son de velocidad y los segundos con las fibras inclinadas son músculos de fuerza. Fuente: Modificado de Carlson (2019).	98
Figura 16. Músculos biarticulares representativos en la extremidad inferior. Fuente: Modificado de Lee & Oh (2019).	100
Figura 17. Músculos biarticulares de las extremidades inferiores. En la imagen A el recto femoral actúa como flexor de cadera y extensor de rodilla y en la imagen B los isquiosurales actúan como extensores de cadera y flexores de rodilla. Fuente: Modificado de Moras (2007).	101
Figura 18. Insuficiencia activa y pasiva en las extremidades inferiores. Fuente: Recuperado de Moras (2007).	102
Figura 19. La actividad IEMG del músculo bíceps braquial fue notablemente menor para las acciones excéntricas que para las concéntricas a cualquier intensidad de ejercicio. Fuente: Modificado de Adams et al. (1992). ...	106
Figura 20. Ilustración anatómica de la ubicación y extensión de las lesiones musculares funcionales y estructurales. (A) Trastornos musculares relacionados con el sobreesfuerzo, (B) Trastornos musculares neuromusculares, (C) Desgarros musculares parciales y (sub) totales. Fuente: Modificado de Mueller-Wohlfahrt et al. (2013).	111
Figura 21. Incidencia de las 4 lesiones por distensión muscular más comunes en grupos de edad de 16 a 21 años, de 22 a 30 años y en mayores 30 años. Fuente: Modificado de Ekstrand et al. (2011).	116

Figura 22. Distribución porcentual de todas las lesiones por grupo muscular. Fuente: Modificado de Cloke et al. (2012). 120

Figura 23. Número de lesiones musculares en las diferentes categorías de un club de fútbol profesional. Fuente: Modificado de Raya et al. (2018). 122

Figura 24. Los músculos isquiosurales. (A) El semitendinoso y la cabeza larga del bíceps femoral. (B) El semimembranoso y la cabeza corta del bíceps femoral. Fuente: Modificado de Mansfield & Neumann (2019). 125

Figura 25. Mes de lesión de los isquiosurales durante el entrenamiento y los partidos (A). Tiempo de la distensión de los isquiosurales que ocurre durante el partido (B). Fuente: Modificado de Woods et al. (2004). 129

Figura 26. Fases de la carrera y su relación con la tensión que se genera sobre esta musculatura. Durante la fase de balanceo los isquiosurales se activan y estiran simultáneamente, absorbiendo la energía del miembro inferior y creando unas condiciones óptimas para la lesión. Fuente: Recuperado de de Hoyo et al. (2013). 131

Figura 27. Ejemplo del fenómeno de holgura o látigo del elemento contráctil (EC), elemento elástico en serie (EES) y la unidad musculo-tendón (UMT) total por la acción del péndulo de la pierna, después de lo cual el EES se estira mientras el EC permanece en isométrico. Fuente: Modificado de Van Hooren & Bosch (2017). 133

Figura 28. Distribución porcentual de lesiones por grupo muscular según la gravedad de las lesiones en jóvenes futbolistas. Fuente: Modificado de Cloke et al. (2012). 135

Figura 29. Diagrama de factores a considerar en la prevención de lesiones musculares isquiosurales. Fuente: Modificado de Buckthorpe et al. (2019). 136

Figura 30. Posición inicial en la medición del ROM en el test ASLR. 177

Figura 31. Posición final en la medición del ROM en el test ASLR. 178

Figura 32. Disposición del material durante la sesión de medición. 179

Figura 33. Determinación del ROM en la posición de máxima flexión en el test ASLR. 181

Figura 34. Promedios de ROM de la pierna dominante (D) y no dominante (ND). Las barras de error representan el error estándar. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en ROM entre la pierna dominante y la no dominante. 192

Figura 35. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna dominante y no dominante) en los diferentes grupos de edad. Las barras de error representan el error estándar. * $p < 0,001$ y † $p < 0,005$ indican diferencias significativas en ROM entre los distintos grupos de edad. 193

Índice de Figuras

Figura 36. Promedios de ROM de la pierna dominante (D) y no dominante (ND) en los diferentes grupos de edad. Las barras de error representan el error estándar. * $p < 0,001$ y † $p < 0,005$ indican diferencias significativas en ROM entre los distintos grupos de edad.	194
Figura 37. Promedios de ROM según las diferentes demarcaciones. Las barras de error representan el error estándar.	196
Figura 38. Promedios de ROM de la pierna dominante (D) y no dominante (ND) según las diferentes demarcaciones. Las barras de error representan el error estándar.	197
Figura 39. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad.	199
Figura 40. Porcentaje relativo (%) de jugadores que sufrieron alguna lesión en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad.	199
Figura 41. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en n° de lesiones entre los distintos grupos de edad.	201
Figura 42. Distribución del porcentaje del total de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la demarcación.	203
Figura 43. Porcentaje relativo (%) de jugadores que sufrieron alguna lesión en la musculatura isquiosural en función de su demarcación.	204
Figura 44. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la demarcación. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en n° de lesiones entre las distintas demarcaciones.	205
Figura 45. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su naturaleza. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en n° de lesiones según su tipología.	207
Figura 46. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la acción en la que se produjo. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas respecto al resto de causas.	210
Figura 47. Distribución del porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo.	212
Figura 48. Distribución del porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo en cada grupo de edad. * $p < 0,01$ indica diferencias significativas en n° de lesiones según el contexto donde se produjo.	214
Figura 49. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna dominante y no dominante) en los jugadores Lesionados vs. No Lesionados. Las barras de error representan el error estándar.	215

Figura 50. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna dominante) en los jugadores Lesionados vs. No Lesionados. Las barras de error representan el error estándar..... 216

Figura 51. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna no dominante) en los jugadores Lesionados vs. No Lesionados. Las barras de error representan el error estándar..... 216

Índice de Abreviaturas

- **ACSA:** *"Anatomical Cross-Sectional Area"*.
- **ADM:** Amplitud de Movimiento.
- **AKE:** *"Active Knee Extension"*.
- **ANOVA:** *"Analysis of Variance"*
- **ASLR:** *"Active Straight Leg Raise"*
- **ASTA:** Área de Sección Transversal Anatómica.
- **ASTF:** Área de Sección Transversal Fisiológica.
- **CCI:** Coeficiente de Correlación Intraclase.
- **CDD:** Cambio de Dirección.
- **CMJ:** *"Counter Movement Jump"*.
- **CSA:** *"Muscle Cross-Sectional Area"*.
- **CSD:** Consejo Superior de Deportes.
- **DOMS:** *"Delayed-Onset Muscular Soreness"*.
- **EC:** Elemento Contractil.
- **EEP:** Elemento elástico en paralelo.
- **EES:** Elemento elástico en serie.
- **EMG:** Electromiografía.
- **FMS:** *"Functional Movement Screen"*.
- **GH:** *"Growth Hormone"*.
- **HM:** Huso Muscular.
- **IC:** Intervalo de Confianza.

- **INT:** *"Integrative Neuromuscular Training"*.
- **LBM:** *"Lean Body Mass"*.
- **MRI:** *"Magnetic Resonance Imaging"*.
- **NHC:** *"Nordic Hamstring Curls"*.
- **OTG:** Órgano tendinoso de Golgi.
- **PCSA:** *"Physiological Cross-Sectional Area"*.
- **PHV:** *"Peak Height Velocity"*.
- **PKE:** *"Passive Knee Extensión"*.
- **PSLR:** *"Passive Straight Leg Raise"*
- **PWV:** *"Peak Weight Velocity"*.
- **RFD:** *"Rate of Force Development"*.
- **RMI:** Reflejo Miotático Inverso.
- **RMT:** Reflejo Miotático de Tracción.
- **ROM:** *"Range of Motion"*.
- **RTP:** *"Return to Play"*.
- **SAR:** *"Sit-And-Reach"*.
- **SD:** *"Standard Desviation"*.
- **SKE:** *"Seated Knee Extensión"*.
- **SNC:** Sistema Nervioso Central.
- **TMJ:** *"Tendon-muscle junction"*.
- **UM:** Unidad Motora.
- **UMT:** Uniones Músculo-Tendinosas.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Prefacio.

El fútbol es considerado como el deporte más popular en el mundo. Una encuesta de la International Federation of Association Football (FIFA), ya en el 2006 estimó que un total de 265 millones de personas juegan al fútbol de forma reglada en todo el mundo, siendo los jugadores de fútbol más jóvenes los que comprendían mayor proporción (54,7%) (FIFA, 2006). Más concretamente en España, y según los últimos datos publicados por la División de Estadística y Estudios de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Cultura y Deporte (2020), en el año 2019 el fútbol fue el deporte que contó con un mayor número de licencias federativas (un total de 1.063000 de los cuales 997.999 son hombres y 65.091 mujeres) y más clubes inscritos (un total de 21.148) entre todas las federaciones deportivas españolas. Estos datos muestran que el fútbol es el deporte más practicado y mantiene su creciente expansión en todo el mundo, y en particular en nuestro país, no solo en edades adultas, sino también en cada una de las edades de las etapas de crecimiento.

Cada vez es mayor el número de licencias federativas entre las distintas categorías de edad, y cada vez existe un mayor número de escuelas y academias de fútbol (Real Federación Española de Fútbol, 2016). De hecho, prácticamente en cada barrio de cada ciudad española podríamos decir que hay una escuela de fútbol.

A pesar de este aumento de participación entre los jóvenes, los profesionales e investigadores interesados en las variables que afectan al rendimiento en el fútbol siguen centrando sus estudios y propuestas en los factores de rendimiento y en la prevención de lesiones en etapas adultas (Cuthbert et al., 2020; van de Hoef et al., 2020). El análisis de las variables que afectan al rendimiento en las etapas de búsqueda del mayor nivel competitivo, deja un tanto de lado el estudio de la influencia de los procesos que se dan en las etapas de

formación, más importantes quizás, ya que cimientan la base del futuro éxito del deportista (Palucci Vieira et al., 2019). Además, es muy común ver que las metodologías en las que se basan los procesos de entrenamiento y preparación física en las escuelas de fútbol son muy similares a las empleadas en el fútbol adulto y/o de élite. Este hecho provoca una especialización deportiva temprana del joven jugador¹, en la que priman los objetivos a corto plazo en el entrenamiento para focalizar la atención en el logro del rendimiento y los resultados inmediatos.

En este contexto de “aceleración” de los procesos formativos, en los que apenas se respetan los ritmos evolutivos de los jóvenes futbolistas en etapas de formación, la ausencia de un control adecuado del entrenamiento podría estar sentando las bases de la aparición de problemas de acortamiento muscular y desequilibrios posturales y/o artro-musculares que, en etapas anteriores, deriven en patrones motores inadecuados que desencadenen mecanismos de lesión a largo plazo (Myer et al., 2015).

Desde nuestro punto de vista, creemos que es de vital importancia estudiar los factores determinantes del rendimiento y que influyen en la incidencia de lesiones en el desarrollo del joven jugador a corto, medio y largo plazo. Pasar por alto estos factores durante las diferentes categorías de formación por las que atraviesa el joven jugador, puede desencadenar adaptaciones indeseadas a nivel estructural y neuromuscular que aumente el riesgo de incurrir en lesiones musculares (Sannicandro et al., 2012). Más concretamente, las lesiones en la musculatura isquiosural son las más frecuentes y estudiadas en el fútbol en edades adultas/profesionales (Ekstrand et al., 2016), pero con escasa evidencia sobre su prevalencia en edades formativas.

¹ En la presente tesis, la especialización deportiva se define como el entrenamiento y competición durante todo el año (más de 8 meses por año) de un solo deporte principal y / o abandonar todos los demás deportes para enfocarse únicamente a uno (Myer et al., 2015).

El estudio que conforma la presente tesis doctoral, pretende analizar la evolución a lo largo de las diferentes categorías del fútbol base de una variable clave en el desarrollo físico y técnico del jugador de fútbol, como es la movilidad activa de la flexión de cadera, la cual está modulada por la flexibilidad de los isquiosurales, la fuerza de la musculatura flexora y el control motor. Además, y en la línea de lo argumentado por otros autores que han postulado una relación entre la movilidad activa de la flexión de cadera y la incidencia de lesiones de isquiorurales (Henderson et al., 2010), la presente tesis doctoral pretende analizar la prevalencia de las lesiones en isquiosurales en las distintas categorías de edad, así como su relación con la movilidad en la flexión de cadera.

La presente investigación pretende aportar nuevas evidencias que ayuden a entender la relación entre la incidencia lesional en isquiosurales y el rango de movimiento en la flexión de cadera contemplando una evaluación más funcional (ASLR test, del inglés “*Active Straight Leg Raise*”). Para ello se contemplarán distintas variables mediadoras y moduladoras (demarcación táctica y dominancia de la lateralidad) en un rango amplio de edades (desde los 9 a los 18 años) y con una muestra de participantes lo suficientemente amplia y homogénea que permita entender dichas relaciones con un alto grado de fiabilidad

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, pretendemos alentar a los responsables de metodología de las academias de fútbol a reflexionar sobre la coherencia de las planificaciones deportivas que están llevando a cabo, fomentando la evaluación y seguimiento de aquellas variables que puedan influir en el correcto desarrollo de las capacidades físico-técnico- tácticas propias de cada etapa evolutiva.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Factores intrínsecos moduladores del rendimiento en el futbolista.

Existe una gran variedad de variables inherentes al deportista que intervienen de manera holística en los procesos de desarrollo del talento y modulan su rendimiento (Birrer & Levine, 1987; Forsman et al., 2016; Reilly et al., 2000; Stølen et al., 2005; Vandendriessche et al., 2012). Entre estas variables podemos destacar los factores mentales-cognitivos o de toma de decisión (Alesi et al., 2015; Hicheur et al., 2017; Williams, 2000), los coordinativos y de control motor (Kokstejn et al., 2019; Rommers et al., 2019; Vandendriessche et al., 2012) y los físicos o condicionales (Bangsbo et al., 2006; Purcell & Hergenroeder, 1994), siendo, según Seirullo (2017), la interacción multidimensional adecuada entre ellas y las influencias de unas sobre las otras lo que determina la optimización del rendimiento deportivo.

En la práctica del fútbol, una actividad de naturaleza esencialmente intermitente, son especialmente importantes ciertas capacidades condicionales: la fuerza, la velocidad, la resistencia y la flexibilidad (Bidaurrezaga-Letona et al., 2015). Estas han sido ampliamente estudiadas por la literatura, considerándose los componentes principales del acondicionamiento físico del deportista (Helgerud et al., 2011; Purcell & Hergenroeder, 1994).

Multitud de estudios han estudiado el rol de la velocidad como una de las capacidades más determinantes en diferentes acciones ofensivas y defensivas en el fútbol, con y sin balón (Haugen et al., 2014). Son varias las manifestaciones de la velocidad en este deporte. Por una parte, algunos autores hablan de velocidad como sinónimo del tiempo que se tarda en realizar los gestos deportivos (velocidad de ejecución o de

movimiento), siendo esta la manifestación funcional y condicional, determinada en parte por la fuerza y la coordinación (Haugen et al., 2014). Por otra parte, otros autores resaltan el aspecto cognitivo de esta capacidad, el cual viene determinado por la capacidad de percibir la información del entorno, el tratamiento de la información y la toma de decisión (Hicheur et al., 2017; Lorains et al., 2013). Esta concepción de la velocidad implicaría la capacidad de leer rápidamente las situaciones de juego y sus posibilidades para resolverlas (velocidad de reacción, velocidad de anticipación y velocidad de toma de decisión). Ambas manifestaciones de la velocidad determinarán una respuesta motora óptima.

Por lo que respecta a la capacidad de resistencia, ampliamente estudiada tanto en jóvenes futbolistas (Visscher et al., 2006) como en futbolistas profesionales (Helgerud et al., 2011), se relaciona con la capacidad de mantener el ritmo de juego durante el partido, así como, y lo que es muy importante, con la capacidad de recuperación entre las distintas acciones y fases del juego (Stølen et al., 2005), facilitando una estabilización de la técnica deportiva y de la fuerza durante toda la actividad (resistencia a la fatiga).

La mayoría de las acciones y gestos técnicos que se dan en el fútbol se producen a través de acciones que requieren de unas amplitudes óptimas de movimiento y vienen determinados por la aplicación de unas fuerzas (tensión muscular), con un adecuado control motor y unos niveles de flexibilidad (Zalai, 2015). De hecho, tal y como se observa en la Figura 1, podemos considerar que la velocidad y la resistencia son diferentes formas de expresión de la fuerza, facilitadas a través de una coordinación y unos rangos de movimiento (Tous, 2007). Por tanto, consideramos la fuerza, la flexibilidad y el control motor como las capacidades-cualidades esenciales y básicas para que las acciones y gestos deportivos que se dan durante la práctica deportiva, sean óptimas.

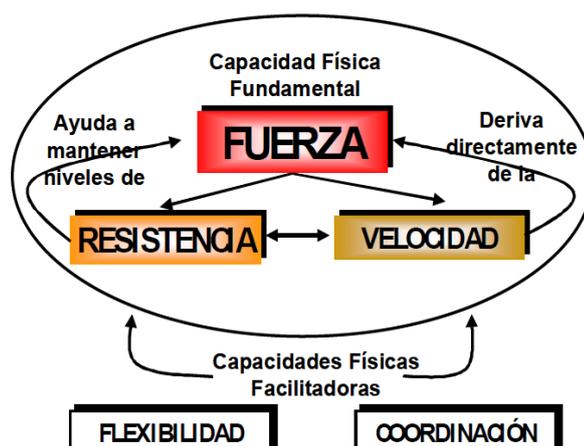


Figura 1. Propuesta de estructuración de las características físicas entorno a la fuerza muscular como capacidad física fundamental. Fuente: Recuperado de Tous (2007).

Los siguientes apartados describirán detalladamente las características y relevancia de las capacidades de flexibilidad, la fuerza y el control motor en el fútbol.

2.2. Flexibilidad, fuerza y control motor.

2.2.1. Contextualización de la amplitud de movimientos y flexibilidad en el fútbol.

La flexibilidad se ha asociado tradicionalmente a deportes que requieren grandes amplitudes de movimiento (ADM) o rangos de movimiento² (del inglés, “Range of Motion (ROM)”), como la gimnasia artística o la gimnasia rítmica (Douda et al., 2008). Sin embargo, cualquier acción o gesto deportivo requiere de unas amplitudes de movimiento definidas por las capacidades de las estructuras activas y pasivas del

² A lo largo de esta tesis utilizaremos los términos rango de movimiento (ROM) y amplitud de movimiento (ADM) como sinónimos.

deportista (Kubo et al., 2001) que, en un deporte como el fútbol, deben estar preparadas para una gran variedad de movimientos, ya que no hay dos acciones iguales.

La flexibilidad, como un factor clave para la ADM, será fundamental tanto para permitir la ejecución de multitud de habilidades generales y específicas del fútbol (Ayala & Sainz, 2010; de Paula Oliveira et al., 2017; García-Pinillos et al., 2015; Hadjicharalambous, 2016; Vaeyens et al., 2006), como para ayudar a la prevención de lesiones de la unión musculo-tendinosa del miembro inferior (Bradley & Portas, 2007; Henderson et al., 2010; Witvrouw et al., 2003).

Desde nuestro enfoque, consideramos que el rango de movimiento de una articulación va a estar determinado en gran parte por la flexibilidad³, entendida como la capacidad de las estructuras musculares, tendinosas y conectivas de una articulación a deformarse y a moverse a través del rango de movimiento articular disponible (Ingraham, 2003; Konin & Jessee, 2012). Otros autores han definido la flexibilidad como la capacidad que tiene una articulación, y más concretamente el componente contráctil de la misma, de ser deformada ante la aplicación de una fuerza, gracias a las propiedades de extensibilidad de sus tejidos (Decoster et al., 2005). Así pues, podríamos definir la flexibilidad como la capacidad intrínseca de las estructuras de los tejidos periarticulares (músculo esquelético, tendón y tejido conjuntivo) para deformarse o alargarse a través del rango disponible de movimiento fisiológico de una articulación o serie de articulaciones (Gleim & McHugh, 1997). Así, la flexibilidad de una articulación le permitiría moverse a través de su rango de movimiento dentro de las limitaciones

³ Consideramos esta definición como la más apropiada para el contexto de nuestro estudio por su relación con el Rango de Movimiento (ROM). A lo largo de la presente tesis utilizaremos el término flexibilidad como capacidad facilitadora del rango de movimiento activo siendo conscientes del debate todavía existente referente a la terminología y definición de esta capacidad.

fisiológicas propias de la misma y sin causar excesivo *stress* a la unidad músculo-tendinosa (Brasileiro et al., 2007; Chandler et al., 1990; Decoster et al., 2005; Ingraham, 2003; Lardner, 2001).

Tras esta breve introducción terminológica podemos comprobar que flexibilidad y movilidad articular están íntimamente relacionadas, y a su vez son dependientes de la capacidad de elasticidad y extensibilidad de los tejidos (músculos, aponeurosis y tendones) que conforman la articulación, en respuesta a una fuerza de tracción (Sáez, 2005; Wepler & Magnusson, 2010). No obstante, cabe señalar que la flexibilidad no puede ser confundida con la laxitud articular, que es una función de la capsula articular y los ligamentos (Gleim & McHugh, 1997).

En el siguiente subapartado desarrollaremos algunas de las diferentes clasificaciones que han tenido una mejor acogida por parte de los investigadores que han estudiado esta capacidad física.

2.2.1.1. Clasificaciones de la flexibilidad.

Según la revisión desarrolla por Merino-Marban & Fernández-Rodríguez (2009) sobre tipos y clasificaciones de la flexibilidad, la mayoría de los estudios clasifican la flexibilidad en función de: a) las necesidades de su manifestación en general o específica (Benavent et al., 2008); b) en función de la participación o no de la musculatura agonista en activa o pasiva (Askling et al., 2010; Gianikellis et al., 2003); y c) en función de la forma de movimiento en estática o dinámica (Hadjicharalambous, 2016; Pastor, 2005).

Para dar respuesta a tanta diversidad de clasificaciones sobre la flexibilidad, Merino-Marban & Fernández-Rodríguez (2009), como se muestra en la Figura 2, elaboran su propia clasificación desde cuatro enfoques:

- Según como se aplican las fuerzas que intervienen en el movimiento (Flexibilidad de fuerza). Básicamente la flexibilidad se divide en:
 - Flexibilidad activa: Siendo la capacidad de las estructuras de los tejidos periarticulares de la musculatura antagonista para extenderse/deformarse⁴ mientras que la musculatura agonista del sujeto se contrae para permitir movilizar la o las articulaciones involucradas (Gianikellis et al., 2003; Muyor et al., 2014), siendo este tipo de flexibilidad muy importante en el rendimiento y en la prevención de lesiones en el fútbol (Askling et al., 2010).
 - Flexibilidad pasiva: Cuando la musculatura agonista no presenta activación, siendo otra fuerza la que produce la acción para movilizar la o las articulaciones, como por ejemplo la fuerza del examinador (Cejudo et al., 2019; Gianikellis et al., 2003; Muyor et al., 2014) gracias a la capacidad de extensión o de relajación de los antagonistas.
- Según haya o no movimiento (Flexibilidad cinética). Se divide en:
 - Flexibilidad dinámica: Siendo la capacidad que permite utilizar una gran amplitud articular durante un movimiento o una secuencia de movimientos (Askling et al., 2010). Al poder realizar este movimiento a distintas velocidades, a su vez se puede subdividir en *balística*, gracias al impulso

⁴ Hay que tener en cuenta que las definiciones de los tipos de flexibilidad hacen referencia a la capacidad de las estructuras de los tejidos periarticulares para deformarse, aunque no se indique este aspecto en el resto de las definiciones para evitar la repetición.

e inercia posterior de un movimiento enérgico, siendo esta manifestación muy relevante en la prevención de lesiones y en el rendimiento de acciones específicas como el golpeo (Askling et al., 2010), en *natural*, cuando se consigue dicha capacidad tanto a velocidad normal como elevada, o en *lenta*, cuando se realiza el movimiento a una velocidad por debajo de lo normal (Sporis et al., 2011).

- Flexibilidad estática⁵: Capacidad que permite mantener una postura en la que se emplee una gran amplitud articular (sin movimiento) (Hadjicharalambous, 2016). Esta a su vez también puede ser activa, cuando se mantiene la posición de máxima amplitud durante varios segundos (Sporis et al., 2011). Siendo una capacidad determinante en el procedimiento llevado a cabo en la presente tesis. O pasiva, cuando la postura se mantiene gracias a una ayuda externa.
 - Según la cantidad de articulaciones involucradas (Flexibilidad cuantitativa). Se divide en:
 - Flexibilidad general: Capacidad que permite alcanzar grandes amplitudes articulares solicitando simultáneamente a muchas o a casi todas las articulaciones del cuerpo (Bennell et al., 1999; Mayorga-Vega et al., 2014).
 - Flexibilidad analítica: Capacidad que permite alcanzar una gran amplitud articular en una sola articulación, por ejemplo la prueba activa de extensión de rodilla desde flexión de cadera (Connor et al., 2015).

⁵ No es lo mismo estático que pasivo. Habría que diferenciar las causas de los distintos tipos de movimientos y en consecuencia los distintos tipos de flexibilidad. De tal manera que nos encontramos con distintas clasificaciones de la flexibilidad según se atienda a distintos parámetros.

- Flexibilidad Sintética: Capacidad que permite alcanzar grandes amplitudes articulares en dos o varias articulaciones simultáneamente (Ylinen et al., 2010).
- Según los requerimientos de la amplitud de movimiento de la actividad a desarrollar (Flexibilidad a demanda).
 - La Flexibilidad funcional: Capacidad que permite alcanzar grandes amplitudes articulares necesarias para realizar una actividad específica. Por ejemplo durante la última fase de balanceo en acciones de sprint, momento en el que los isquiosurales tienen que tener una adecuada flexibilidad funcional (Wan et al., 2017a, 2017b).
 - Flexibilidad de reserva: Capacidad que permite alcanzar una amplitud articular superior a la requerida por una actividad específica (Gianikellis et al., 2003). La cual es importante en el futbolista tanto para evitar rigideces excesivas que puedan afectar a la coordinación y ejecución de las acciones deportivas y como medida preventiva de lesiones (Small et al., 2009).
 - Flexibilidad Anatómica: Capacidad de elongación máxima de la estructura articular que permite alcanzar la máxima amplitud que poseen las articulaciones (se suele alcanzar en los estiramientos pasivos forzados) (Gianikellis et al., 2003) y no tiene apenas transferencia para deportes de dinámica intermitente como el fútbol.

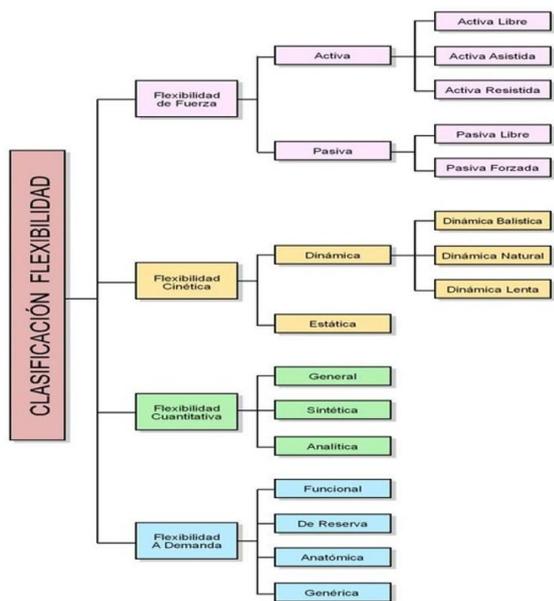


Figura 2. Clasificaciones de la flexibilidad. Fuente: Recuperado de Merino-Marban & Fernández-Rodríguez (2009).

Una vez expuestas las diferentes formas de entender la manifestación de la flexibilidad, en el siguiente subapartado vamos a pasar a describir los factores fundamentales que modulan esta capacidad física, ya que se trata de la capacidad principal estudiada en nuestro estudio.

2.2.1.2. Factores que influyen en la flexibilidad.

2.2.1.2.1. Factores estructurales.

Consideramos que moverse supone vencer en primer lugar las resistencias que ofrecen los diferentes componentes estructurales del cuerpo. En este sentido, la literatura previa es altamente consistente y unánime a la hora de indicar que la flexibilidad es específica para una acción muscular y articular concreta, es decir, para cada movimiento

y articulación (Medeiros et al., 2013; Zakas et al., 2002), siendo posible ser bastante flexible en la acción muscular del movimiento de una articulación determinada y, al mismo tiempo, presentar una pobre flexibilidad en otras articulaciones. Así pues, en cuanto a la influencia de los factores estructurales sobre el desarrollo de esta capacidad, se ha de tener en cuenta en primer lugar los elementos óseos, debido a que el rango de movimiento de una articulación viene definido por el ángulo que puede lograrse entre los distintos huesos que forman parte de la misma en cada uno de los tres ejes de movimiento (Santana et al., 1990). Por otro lado, se han de considerar aquellos elementos estructurales inherentes al propio músculo: tipo, tamaño, longitud y disposición de fibras musculares (sarcómeros) y su tejido circundante, junto a su capacidad para acortarse y de generar tensión al estirarse ante una fuerza externa, gracias a su componente contráctil y elástico (Pastor, 2005). En tercer lugar, e interdependiente con el anterior, están los factores estructurales inherentes al tejido conjuntivo (tendones, ligamentos, cápsula articular y fascias) así como su tamaño, longitud, y su compuesto fibroso (colágeno) y elástico (elastina). Por último, pero no por ello deja de ser relevante, hay que resaltar que no solo la influencia estructural mecánica - morfológica del sistema músculo-tendinoso afectan a una mayor o menor flexibilidad. La tracción mecánica que experimentan tanto los nervios como las fascias también desempeñan un papel muy importante en la percepción del estiramiento, pudiendo limitar esta capacidad e influyendo en la magnitud de la tensión muscular (Nordez et al., 2017).

2.2.1.2.2. Factores neurofisiológicos.

A parte de los factores estructurales, existen multitud de evidencias previas que han mostrado el importante rol que juegan los factores neurofisiológicos sobre la

flexibilidad. Concretamente, los propio-receptores sensoriales a nivel muscular y tendinoso proporcionan “*feedback*” al Sistema Nervioso Central (SNC) sobre la tensión, la longitud, la presión y la nocicepción, junto a los reflejos que subyacen de los mismos (Pastor, 2005; Santana et al., 1990).

En el desarrollo de la flexibilidad tienen especial relevancia la participación de varias estructuras y órganos neuromusculares como son el huso muscular (HM) y el órgano tendinoso de Golgi (OTG) (ver Figura 3). Los HM son los receptores sensoriales de estiramiento más importantes a nivel muscular. Se encuentran en el interior de la porción central gruesa del músculo (fibras intrafusales), distribuidos en paralelo con las fibras musculares, y cuya parte central no es contráctil. Estos husos están inervados por las neuronas motoras *gamma*, las cuales detectan cambios en la longitud del músculo. Cuando los HM reciben un estímulo de elongación excesiva se provoca la estimulación de las terminaciones nerviosas existentes, enviándose información vía aferente a la medula, donde se estimulan las neuronas motoras *alfa*, y la vía eferente envía un impulso de contracción del mismo músculo estirado, generando una contracción muscular de las fibras extrafusales, liberando tensión de las intrafusales y la inhibición de los músculos antagonista (Pastor, 2005). Esta respuesta por vía refleja que se opone a la elongación mediante la contracción muscular progresiva es lo que se conoce como reflejo miotático de tracción (RMT) o reflejo de estiramiento, considerándose un mecanismo de protección del músculo para evitar su rotura ante una elongación descontrolada (Santana et al., 1990). Por otra parte, a la respuesta inhibitoria de la musculatura antagonista se le denomina inhibición recíproca (del inglés, “*reciprocal inhibition*”).

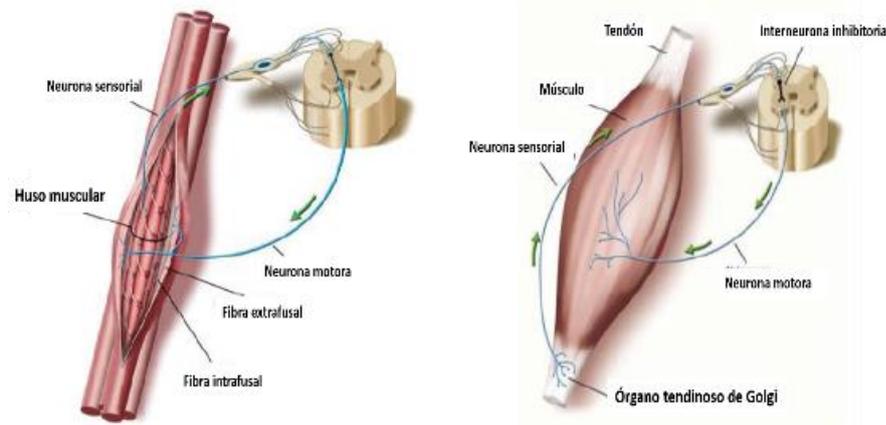


Figura 3. Un huso muscular (izquierda) y un órgano tendinoso de Golgi (derecha). Fuente: Modificado de Qiu & Kang (2017).

Por otro lado, los órganos tendinosos de Golgi se localizan en la unión musculotendinosa. Su disposición en serie permite recibir la tensión que transmite el músculo (Santana et al., 1990). Estos receptores sensoriales se estimulan cuando aumenta excesivamente la tensión tendinosa (cuyo umbral de excitación es más elevado que la del huso muscular). A diferencia de los husos musculares (que no tienen inervación eferente), la activación de los OTG origina, por vía refleja, una inhibición de la motoneurona *alfa* (neuronas excitatorias) y como consecuencia, el músculo se relaja, cediendo la tensión. A esta relajación se le llama reflejo miotático inverso (RMI), siendo también un mecanismo de protección músculo-tendinoso muy útil para evitar roturas por exceso de tensión (Pastor, 2005; Santana et al., 1990).

Todos estos elementos del complejo neuromusculoesquelético actúan como mecanismos de protección ante las deformaciones, y por lo tanto, modulando el rango de movimiento de las distintas articulaciones del deportista, sobre todo en movimientos

poliarticulares, como puede ser una flexión de cadera con rodilla extendida (Nordez et al., 2017).

2.2.1.2.3. Otros factores.

Otro de los factores inherentes al deportista que influye en esta capacidad y que guardan una relación directa con los anteriores son el *sexo* y la *edad* (Medeiros et al., 2013). En cuanto a la variable sexo, a pesar de que no existen estudios concluyentes en fútbol, en general en deportistas adolescentes, las chicas presentan mayores valores de flexibilidad que los chicos (Bale et al., 1992), estos autores atribuyen al incremento muscular y la morfología del esqueleto la explicación de que los chicos sean menos flexibles. Sin embargo, no creemos necesario entrar en profundidad, ya que la muestra objeto de estudio de la presente tesis está centrada únicamente en chicos. En cuanto al factor edad, estudios previos realizados en población no deportista han informado de una tendencia general hacia la reducción de la flexibilidad a lo largo de las edades (McKay et al., 2017) citado en Cejudo et al. (2019). En deportistas y concretamente jugadores de fútbol son poco los estudios en los que la flexibilidad muscular esté directamente relacionada con la edad (Cejudo et al., 2019; Nikolaïdis, 2012), no obstante, como a su vez esta capacidad también va a depender del tipo y cantidad de actividad física (Maffulli et al., 1994), la variable edad la desarrollaremos en mayor profundidad en el apartado 2.3.3. Otro factor inherente de la flexibilidad y difícilmente modificable por el entrenamiento es la herencia o componente genético. Aunque su influencia y resultados han sido inconsistentes (Frederiksen & Christensen, 2003).

En cuanto a los principales factores externos al deportista y que influyen a nivel metodológico en la presente tesis son: a) *El calentamiento*: El cual tiene efectos agudos

como el aumento del flujo sanguíneo, aumento de la temperatura central, cambios en las propiedades viscoelásticas del músculo (disminuye la viscosidad del sarcoplasma) mejorando la capacidad de elongación del mismo y paralelamente como consecuencia aumenta significativamente la capacidad de flexibilidad y el rango de movimiento (Gray et al., 2002). Suelen ser calentamientos dinámicos, de intensidad moderada, con una duración de unos 20 minutos, compuestos de cinco a diez minutos de carrera continua y ejercicio de flexibilidad dinámica y/o estática (Sporis et al., 2011). Aunque para evitar estos factores externos muchos estudios de valoración de flexibilidad no usan ningún tipo de calentamiento previo a las mediciones (Connor et al., 2015; Muyor et al., 2014; Ylinen et al., 2010). b) *Hora del día*: La capacidad de flexibilidad puede variar a lo largo del día, reportándose los mejores valores durante las horas de la tarde y los peores durante las primeras horas de la mañana (Guariglia et al., 2011).

Como se ha podido comprobar a lo largo de los párrafos anteriores, dado que la flexibilidad es una cualidad compleja, muchas veces se suelen utilizar como sinónimos diferentes palabras relacionadas con esta capacidad, empleándose indistintamente términos como “rango de movimiento”, “elasticidad”, “*stiffness*” y/o “extensibilidad”. Este hecho dificulta la comprensión de la literatura que ha abordado el estudio de esta capacidad (Marbán et al., 2011).

Por este motivo consideramos que, puesto que esta capacidad será el objeto principal de estudio en la presente tesis, y para evitar confusiones terminológicas, a continuación, diferenciaremos ciertos términos importantes.

2.2.1.3. Concepto de Rango de Movimiento.

El rango de movimiento según Moras (2007), hace referencia a una valoración cuantitativa del arco de movimiento de una determinada articulación al realizar una acción, independientemente de la velocidad de ejecución a la que se realice. En otras palabras, es la cantidad de movimiento de la que dispone una articulación, ya sea de forma pasiva o activa, es decir, según intervengan fuerzas externas al sujeto o no, respectivamente (Konin & Jessee, 2012). Considerándose una de las principales herramientas a utilizar para la evaluación de la función musculoesquelética.

El rango de movimiento pasivo se puede definir como la amplitud segmentaria máxima que se logra cuando una fuerza externa al individuo (por ejemplo, la gravedad o el entrenador/evaluador) provoca el cambio de posición de los segmentos que configuran una articulación gracias a la capacidad de extensión o de relajación de los antagonistas (Gianikellis et al., 2003). De este modo, los resultados obtenidos en los test que miden esta capacidad pasiva son parcialmente dependientes de la fuerza aplicada durante la maniobra (Gajdosik et al., 1993), siendo la flexibilidad de las estructuras que conforman las articulaciones la principal responsable del arco de movimiento (Cejudo et al., 2015). Por otro lado, el rango de movimiento activo es el que se puede alcanzar cuando los músculos responsables de la acción (agonistas) se contraen y los antagonistas se elongan (Gianikellis et al., 2003), lo que resulta en un cambio de posición de los segmentos que conforman una articulación requiriendo un adecuado control muscular y una elevada coordinación intermuscular (Fredriksen et al., 1997).

Muchos autores, actualmente aun consideran estos conceptos de rango de movimiento (indistintamente si es activo o pasivo) como sinónimos de flexibilidad (Medeiros et al., 2019). Así pues, la flexibilidad está más relacionada con la limitación o

resistencia al movimiento que ofrecen ciertas estructuras de los tejidos blandos (músculo, tendones, tejido conectivo), siendo únicamente el ROM pasivo una manera válida y fiable de medir de manera indirecta (en grados) esta capacidad muscular (Cejudo et al., 2015, 2019).

2.2.1.4. Concepto de Elasticidad, Stiffness y Complianza.

El rango de movimiento de una articulación también vendrá condicionado por la elasticidad de los tejidos, entendida como la capacidad de recuperar su forma o su longitud cuando cesan las fuerzas que lo mantenían deformado sin sufrir deterioro (Sáez, 2005). Otros autores definen la elasticidad como la propiedad que poseen algunos tejidos de recuperar fácilmente su forma primitiva después de haber sido sometidos a una fuerza deformante de tracción (Suárez et al., 2010), generalmente a alta o muy alta velocidad. De ahí que, se pueda considerar la flexibilidad y la elasticidad como una de las principales manifestaciones determinantes del rango de movimiento articular según la velocidad del movimiento.

Muy relacionado con el concepto de elasticidad surge el término mecánico “*stiffness*”, que significa rigidez, y se define como la resistencia que ofrece una estructura/material a la deformación (Gleim & McHugh, 1997), en nuestro ámbito, en relación con las estructuras anatómicas que conforman el sistema tendinoso y muscular. El concepto de elasticidad está muy relacionado con el de “*stiffness*” ya que una estructura biológica tiene “*stiffness*” y elasticidad. Sin embargo, el concepto de elasticidad y “*stiffness*” no pueden ser intercambiados ni considerarlos sinónimos, dado que el concepto de elasticidad se entiende como la propiedad del material (por ejemplo, el huso muscular) atendiendo a su coeficiente de elasticidad y el “*stiffness*” incluye

además la estructura (según el volumen/grosor y la medida/longitud) (Moras, 2003). La “*stiffness*” muscular se mide o se representa definiendo la pendiente de la curva carga-alargamiento de un material (Gleim & McHugh, 1997) (ver Figura 4).

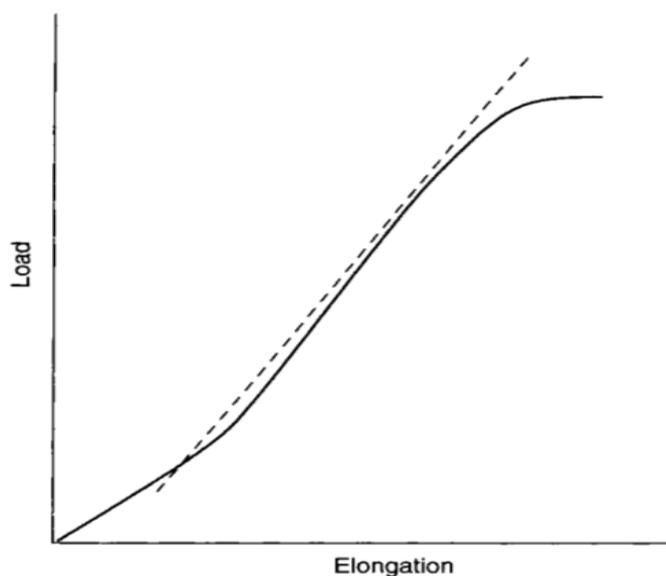


Figura 4. Curva carga-elongación, típica de la respuesta del músculo esquelético a un estiramiento aplicado *in vivo*. La rigidez del músculo se define como la pendiente de la línea de la porción lineal de la curva. Cuanto más rígido es el músculo, más pronunciada es la línea. Fuente: Recuperado de Gleim & McHugh (1997).

La complianza muscular es el término opuesto a “*stiffness*”, pudiendo ser definida como la facilidad o capacidad de la unidad músculo-tendinosa a ser estirada/deformada y que influye en su capacidad para almacenar y reutilizar la energía elástica (Gleim & McHugh, 1997).

Una vez definidos estos conceptos, hay que interpretar con cautela las definiciones que consideran a la flexibilidad como la cualidad física que nos permite movilizar las articulaciones alcanzando los rangos de movimiento óptimos para el gesto deportivo, ya que también va a depender en gran medida de la tensión generada por los músculos

encargados de realizar la acción (tensión de la musculatura agonista, sinergista y fijadora), los cuales pueden estar más o menos debilitados (Cowan et al., 2004) y/o fatigados (Bradley & Portas, 2007; Muyor & Arrabal, 2016). De hecho, un óptimo nivel de aplicación de fuerza de la musculatura agonista (contracción muscular) y una óptima extensibilidad de la musculatura antagonista de los miembros inferiores, por medio de la acción refleja denominada inhibición recíproca, van a permitir un óptimo rango de movimiento activo en la articulación de la cadera, el cual permitirá alcanzar un mayor rendimiento en las acciones motrices propias del fútbol (Pastor, 2005; Robinson, 2011).

Así pues, todo movimiento activo tiene como origen la capacidad neuromuscular de generar tensión intramuscular (fuerza). Este movimiento va a estar facilitado por la capacidad de los tejidos blandos del sistema articular y muscular a deformarse mediante una determinada flexibilidad o elasticidad. De este modo, tanto la flexibilidad como también la elasticidad deben considerarse cualidades facilitadoras de la fuerza (Tous, 2007), siendo esta uno de los componentes más importantes del rendimiento físico en el deporte y en la prevención de lesiones (Faigenbaum et al., 2009; Lehance et al., 2008; Zouita et al., 2016).

2.2.2. Relevancia de la fuerza en el fútbol.

La fuerza es una capacidad neuromotora que se define como resultado del desempeño conjunto y coordinado del SNC y muscular para generar tensión muscular interna, ya sea isométrica o dinámicamente (excéntrica o concéntrica), durante un esfuerzo voluntario ante una determinada carga externa y en una determinada acción (Siff & Verkoshansky, 2000). La fuerza puede manifestarse de distintas maneras: en función de la magnitud de la tensión generada por el sistema neuromuscular (fuerza máxima), en

función de la velocidad a la que se desarrolla (fuerza explosiva o producción de fuerza en la unidad de tiempo) y en función del tiempo durante el que se aplica (fuerza resistencia) (Verkhoshansky, 2001).

Esta capacidad neuromuscular, sobre todo en la juventud, está determinada principalmente por la interrelación de factores biomecánicos y fisiológicos, como la mecánica muscular (tipo de acción muscular); por factores morfológicos y arquitectónicos del músculo (como el tipo y orientación de las fibras del área muscular); y por factores neurales (reclutamiento de unidades motoras, frecuencia de los estímulos/impulsos nerviosos, la sincronización y coordinación intermuscular) (Aagaard, 2003; Croix, 2007; Ramsay et al., 1990).

Como se ha comentado en el apartado anterior, la fuerza es la capacidad física fundamental que interviene de manera inherente en prácticamente todas las acciones y habilidades motoras del fútbol, y a partir de la cual las anteriores capacidades se ven influenciadas y cobran sentido (Bidaurrezaga-Letona et al., 2015; Lloyd & Oliver, 2012; Teeple et al., 1975).

En un deporte de esfuerzos acíclicos máximos y explosivos como el fútbol (ver Figura 5), el componente de fuerza muscular del jugador, concretamente la rapidez con la que se genera una determinada cantidad de fuerza, (RFD, del inglés “*Rate of Force Development*”) y su desarrollo, especialmente en los miembros inferiores, se considera una de las capacidades físicas más importantes y más determinantes en el rendimiento de este deporte (Le Gall et al., 2002; Sedano et al., 2007; Silva et al., 2015). Esta capacidad será clave en un gran número de acciones, como saltos, desplazamientos a alta velocidad, cambios de dirección, frenadas, golpes y disputas de balón (Chelly et al., 2010; Comfort et al., 2014; Keiner et al., 2014; Otero-Esquina et al., 2017; Sander et al., 2013; Sedano et al., 2011; Silva et al., 2015; Wisløff et al., 2004; Wong et al., 2010).

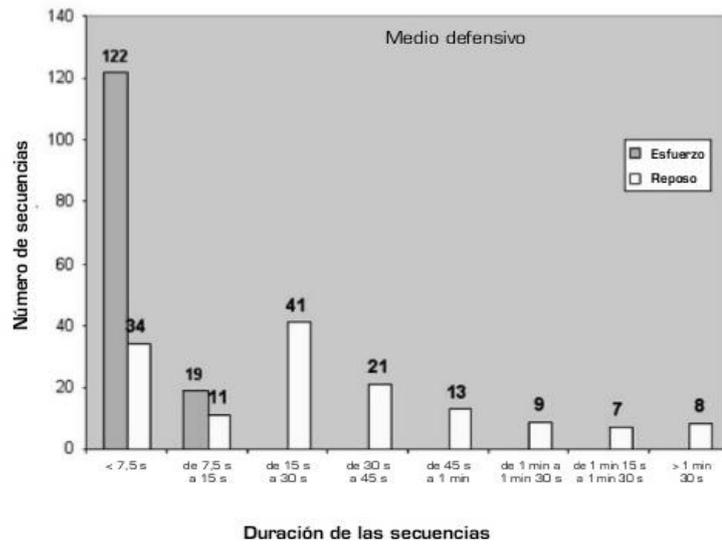


Figura 5. La frecuencia de los tipos de esfuerzo en función de su duración para un jugador de mediocampo defensivo. Los esfuerzos de menos de 7,5 segundos son los más frecuentes. Recuperado de “La preparación física en el fútbol”, de Cometti (2002), p. 29, Barcelona, España: Paidotribo.

Consideramos que la capacidad neuromuscular que tiene la musculatura implicada (fundamentalmente, la musculatura extensora de la rodilla, flexora de la cadera y extensora de tobillo) de generar tensión, tanto en su manifestación de tipo concéntrico como excéntrico (frenadas y con cambios de dirección, aterrizajes) e incluso isométrico, es un factor fundamental para soportar las demandas condicionales del futbolista y por consiguiente, como se muestra en la Figura 6 su entrenamiento y su desarrollo es clave para la mejora del rendimiento de ciertas acciones del jugador (Hoff & Helgerud, 2004; Otero-Esquina et al., 2017; Sedano et al., 2007; Silva et al., 2015; Young, 2006) (ver Figura 6).

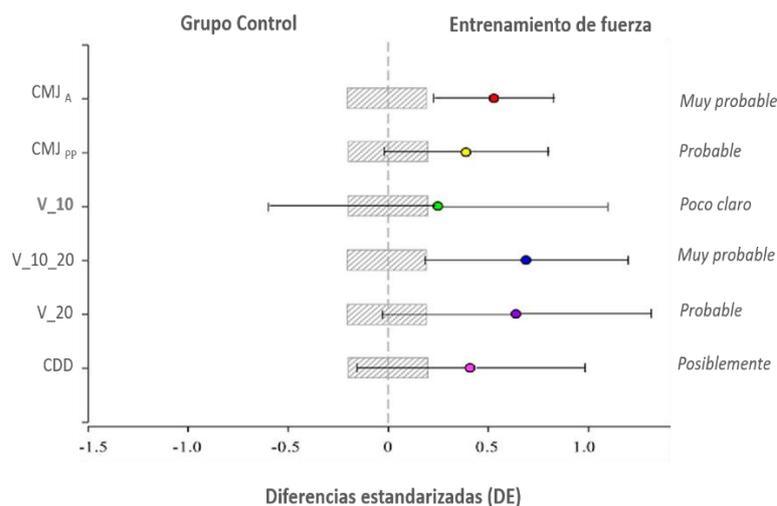


Figura 6. Efectividad del grupo de entrenamiento experimental de fuerza en comparación con el grupo de control para mejorar el pico de potencia (CMJ_{PP}) y la altura de salto (CMJ_A) durante una prueba CMJ, pruebas de sprint lineal de 10 m (V₁₀), 10–20 m (V_{10_20}) y 20 m (V₂₀), y pruebas de cambio de dirección (CDD). Fuente: Modificado de Otero-Esquina et al. (2017).

A parte de la importancia que tiene la capacidad muscular de generar tensión y la capacidad de los tejidos blandos (tanto en su vertiente articular para dar movilidad como en su vertiente muscular) para deformarse, los gestos específicos propios del fútbol, también se va a requerir de un adecuado desarrollo coordinativo basado en el control motor. Este estará determinado por las capacidades coordinativas, somatosensoriales (propioceptivas) y sensoriomotoras del deportista, las cuales van a permitir mantener la estabilidad funcional de la articulación, un adecuado control muscular local y, por lo tanto, ejecutar las acciones deportivas de manera coordinada, obteniendo como resultado una eficiencia motriz (Alves et al., 2018; Chew-Bullock et al., 2012).

2.1.3. Factores de control motor en el fútbol.

El control motor o sensoriomotor puede definirse como la combinación de los procesos neurosensoriales y neuromusculares a la hora de regular y dirigir de manera combinada los mecanismos visuales, somatosensoriales y vestibulares, así como los procesos esenciales para el movimiento (Shumway-Cook & Woollacott, 2019), citado en Bruno (2017), siendo de vital importancia para la generación de la estabilidad funcional y mecánica de la articulación durante las posturas estáticas y dinámicas (Fort Vanmeerhaeghe & Romero, 2013). Estos procesos tienen lugar por una parte gracias a los “*inputs*” somatosensoriales, concretamente las señales propioceptivas de los sensores musculares y articulares (sensibilidad propioceptiva), y en segundo lugar gracias a los “*outputs*” neuromusculares coordinados por el SNC.

Para poder entender mejor estos procesos a lo largo de la presente tesis, pasamos a definir conceptos básicos relacionados con las bases fisiológicas y anatómicas del sistema sensoriomotor, y así entender los mecanismos responsables del mantenimiento de la estabilidad funcional de la articulación durante las acciones que se dan en este deporte.

Sistema somatosensorial: El término somatosensorial entre otros muchos estímulos periféricos incluye las señales propioceptivas / mecanorreceptoras (gracias a los receptores propioceptores) de sensores musculares y articulares que detectan la posición, tensión y movimiento articular (Quatman-Yates et al., 2012). Por lo tanto, es importante no confundir el término somatosensorial con el de propiocepción, ya que este último es un subcomponente del primero (Fort Vanmeerhaeghe & Romero, 2013).

Sistema propioceptivo: Según Fort Vanmeerhaeghe & Romero (2013) se entiende como propiocepción el tipo de sensibilidad aferente del sistema somatosensorial que participa / contribuye en mantener la estabilidad dinámica de la articulación, gracias a la detección periférica de los mecanorreceptores de las variaciones de presión, tensión y longitud de los diferentes tejidos articulares y musculares. Y el cual se ha visto que mejorar con la edad (Zago et al., 2020).

Estos mecanorreceptores al ser estimulados proporcionaran información (vía aferente) hasta el SNC, el cual procesará estas señales aferentes y generará respuestas motoras eferentes, que modularán la actividad muscular proporcionando la estabilidad dinámica articular y/o postural. Estas respuestas motoras están estrechamente relacionadas con el concepto de control del sistema neuromuscular (Williams et al., 2001).

Sistema de control neuromuscular: Según Fort Vanmeerhaeghe & Romero (2013) el control neuromuscular se define como la activación muscular precisa (respuesta eferente) bajo el control del sistema nervioso que posibilita el desarrollo coordinado y eficaz de una acción. Se ha propuesto que una interacción deficiente entre el sistema nervioso y el sistema musculoesquelético es uno de los principales factores de riesgo para lesiones sin contacto (Lehnert et al., 2017). Es por ello por lo que se trata de una capacidad clave en el desarrollo y rendimiento del futbolista. Este deporte se basa en la repetición de continuas situaciones motrices complejas que requieren la acción combinada del SNC y de la musculatura esquelética que desencadenen en acciones de producción de fuerza en la realización de movimientos eficaces que supongan un mínimo gasto de energía y, por otro lado, proporcione una estabilidad funcional del cuerpo (García et al., 2003; Young, 2006). Esta necesidad neuromuscular de activación de los mecanismos de control

y regulación del movimiento cobra especial sentido en un deporte como el fútbol, ya que será más complejo cuanto mayor dificultad tenga la tarea a realizar.

Coordinación intermuscular e intramuscular: En la mayoría de las acciones-gestos técnicas (tanto analíticos como globales) que se dan en este deporte, se requiere de la activación coordinada de varios grupos musculares (orquestrados por el SNC) para producir con eficiencia y eficacia el movimiento (Borghuis et al., 2008; Tanner et al., 2013). Simultáneamente, también se requiere que, cuando las neuronas motoras descargan sus impulsos eléctricos lo hagan de forma ordenada para evitar que las fibras musculares se contraigan de manera aleatoria y, por lo tanto, ineficientemente. Así pues, tanto la cantidad (fuerza o tensión y velocidad) como la calidad (técnica- coordinación-control) con la que se realizan las diferentes acciones en el fútbol (saltos, esprints, giros, golpes, aceleraciones, etc.), en gran medida van a depender de un reclutamiento y de una sincronización adecuada (coactivación o activación recíproca) de los diferentes músculos entre sí (músculos agonistas, antagonistas, sinergistas y fijadores), lo que se conoce como coordinación intermuscular (Paoli et al., 2012; Tanner et al., 2013). Por otra parte, la correcta ejecución también va a depender de una óptima sincronización, acoplamiento y activación de las diferentes unidades motoras que conforman el propio músculo, lo que se conoce como coordinación intramuscular (Ramsay et al., 1990). En este sentido cabe resaltar que una inadecuada, deficiente y/o alterada coordinación sinérgica en el patrón de sincronización y reclutamiento muscular, tanto de la propia musculatura que realiza el movimiento como con el resto de las estructuras musculares, causará unos déficits propioceptivos y un desequilibrio de la fuerza muscular que pueden suponer una pérdida en la eficacia del control postural y por lo tanto del gesto deportivo (Borghuis et al., 2008; Sannicandro et al., 2012; Tanner et al., 2013) e incluso aumentar

el riesgo de sufrir una lesión (Cameron et al., 2003; Schuermans et al., 2016; Sole et al., 2012).

Sistema de control postural: Se define como la capacidad del individuo de controlar el sistema neuromuscular y mantener el centro de gravedad corporal dentro de la base de sustentación, implicando el dominio y orientación de la posición del cuerpo y de sus segmentos en el espacio, compensando las perturbaciones internas o externas (equilibrio), gracias a la distribución de la actividad muscular tónica (postura) (Ivanenko & Gurfinkel, 2018).

Una vez aclarados estos conceptos, en el contexto deportivo del fútbol, gran parte de la importancia del control motor se centra en la función coordinada de la actividad de la musculatura que conforma la parte central del cuerpo, conocida como “*core*” o complejo lumbo pélvico (Borghuis et al., 2008). Este núcleo del cuerpo incluye los músculos de la columna, de la cadera, de la pelvis, de la parte proximal de los miembros inferiores y del abdominal (Kibler et al., 2006).

La estabilidad (con el apoyo del sistema vestibular) y el control motor del complejo lumbo-pélvico, en el cual también contribuyen en cierto grado los elementos estáticos (huesos y tejidos blandos), es de vital importancia para la estabilización postural y la generación de habilidades motoras en la gran mayoría de las acciones deportivas (Hibbs et al., 2008), considerándose fundamental para una función biomecánica eficiente a la hora de generar fuerza en las distintas acciones que desarrolla el futbolista (Borghuis et al., 2011). De este modo, el control motor de la estabilidad de la musculatura proximal/central durante la movilidad de la cadera contribuye a una producción y a una transferencia de la fuerza a nivel distal de la musculatura iniciadora del gesto deportivo que influye de manera positiva en el rendimiento del gesto técnico (Kibler et al., 2006).

Para concluir este apartado, creemos interesante resaltar la idea de que los movimientos y gestos técnicos que realiza el futbolista necesitan determinados rangos de movimiento activos, los cuales están influenciados por la activación de adecuados patrones de sincronización y reclutamiento, por la flexibilidad y movilidad de las articulaciones y por la capacidad de los músculos de generar fuerza. Además, considerando los hallazgos previos de Muyor y colegas (Muyor & Arrabal, 2016), entendemos que la fuerza, la flexibilidad y el control motor son capacidades indivisibles que modulan e interactúan las unas con las otras para realizar movimientos activos.

Una vez comprendida a nivel conceptual la función de cada una de las cualidades que sustentan el resto de las capacidades físicas y determinan el rango de movimiento de las acciones motrices que se dan en el fútbol, podemos suponer que hoy en día, no trabajar alguna de estas capacidades durante los microciclos de entrenamiento, se consideraría un error, sobre todo durante las categorías inferiores del fútbol formativo. El desarrollo madurativo y evolutivo de estas capacidades resultan un factor clave tanto para el rendimiento como para la prevención de lesiones a corto, medio y largo plazo den el proceso de formación del deportista. Por este motivo consideramos que los parámetros moduladores de estas capacidades han de ser analizadas en los distintos grupos de edad, puesto que en cada etapa deportiva las características y necesidades individuales se van modificando.

En el siguiente apartado se describirá detalladamente las fases del desarrollo evolutivo de cada una de las capacidades tratadas enumeradas anteriormente en las diferentes etapas del fútbol formativo.

2.3. Desarrollo evolutivo de la fuerza, el control motor y la flexibilidad en las etapas formativas del fútbol.

La evolución del rendimiento de estas capacidades condicionales y coordinativas a lo largo del proceso de formación y desarrollo del joven jugador de fútbol es un aspecto muy estudiado por parte de investigadores, entrenadores y preparadores físicos con distintas finalidades: la identificación y selección de talentos (Deprez et al., 2015; Rommers et al., 2019; Vaeyens et al., 2006), la valoración del estado físico y nivel de rendimiento del deportista (Borges et al., 2017; Calahorro et al., 2012; Lovell et al., 2018), así como en la prevención de lesiones (Lehance et al., 2008; Malina, 2010; Myer et al., 2011; Quatman-Yates et al., 2012).

El análisis de estas capacidades a lo largo de las distintas etapas evolutivas del desarrollo del jugador se convierte en un factor primordial a la hora de diseñar la planificación y metodología del entrenamiento, con el fin de lograr un desarrollo integral del joven jugador y optimizar el desarrollo de su salud y el rendimiento deportivo a corto, medio y largo plazo (Deprez et al., 2015).

A lo largo de las distintas etapas de desarrollo de las capacidades condicionales y habilidades motoras existen unos periodos o fases en los cuales la adaptación de estas capacidades es especialmente sensible. A estas fases se les denomina períodos críticos (del inglés, “*critical periods*”), definidos como periodos de tiempo finitos durante los cuales el joven deportista es más sensible al aprendizaje de una habilidad particular (Viru et al., 1999) y por lo tanto se producirán unas adaptaciones óptimas si se implementan los estímulos adecuados, creando una base idónea sobre la que se podrán trabajar otras capacidades más específicas de cada deporte en fases posteriores.

La evolución y desarrollo de estas capacidades va a estar condicionado y, en algunos casos limitado, por las diferentes etapas evolutivas y de transformación por las que atraviesa el jugador (Nikolaidis & Vassilios Karydis, 2011; Vaeyens et al., 2006). De acuerdo con Philippaerts et al. (2006) y Viru et al. (1999) la pubertad es el período de entrenamiento más sensible para el desarrollo de estas capacidades físicas. Es por eso que, antes de analizar con detalle la evolución y variaciones de estas capacidades, así como sus fases sensibles a lo largo de cada una de las categorías competitivas del fútbol formativo, es necesario conocer las distintas etapas de desarrollo (en términos de crecimiento físico, perfil antropométrico y madurez biológica) por las que atraviesa en cada una de ellas (Deprez et al., 2015; Nikolaidis & Vassilios Karydis, 2011).

Debemos recordar que los jugadores de fútbol en los equipos de formación son agrupados en categorías de acuerdo con la edad cronológica y no por madurez biológica (Portella et al., 2011), lo que a veces puede tener algunas consecuencias negativas en los procesos de selección de talentos en las categorías inferiores.

2.3.1. Etapas de desarrollo dentro de las categorías de edad del fútbol base.

2.3.1.1. Etapa prepuberal: benjamines y alevines (de 8 a 12 años).

Este periodo es considerado como la etapa prepuberal, también conocida como infancia intermedia (del inglés “*middle childhood*”), la cual se caracteriza por una tasa de crecimiento constante y por ser una de las etapas más importantes en el desarrollo de la coordinación neuromuscular (Malina, 1994; Myer et al., 2011). En esta etapa el sistema nervioso se encuentra en su mayor momento de plasticidad y desarrollo natural (Borms

et al., 1987). Esta fase será clave en el desarrollo de multitud de capacidades principalmente derivadas del desarrollo neuronal a nivel central y periférico (Lloyd & Oliver, 2012; Viru et al., 1999).

La etapa prepuberal es considerada como un periodo de gran variabilidad biológica, en gran medida derivada del hecho de que exista un pronunciado ritmo de crecimiento constante, considerándose en términos de maduración como los años previos al pico de velocidad de crecimiento (PHV, del inglés “*peak height velocity*”). Este hecho da lugar a cambios muy importantes a nivel físico y motor (Mirkov et al., 2010; Yagüe & De La Fuente, 1998). Es importante señalar que durante estas edades Kanehisa et al. (1994) observaron que el músculo esquelético del niño prepúbere tiene poco tono y definición, debido a un insuficiente desarrollo del tejido muscular, concretamente del área de sección transversal muscular anatómica (CSA, del inglés “*muscle cross-sectional area*”) del cuádriceps femoral, siendo a partir de los siete años en adelante, cuando se aprecia un aumento moderado en el área de las fibras de los músculos estudiados. Por lo tanto, se considera que las adaptaciones del control motor y de las expresiones de fuerza, como veremos en apartados posteriores, pueden estar menos relacionados con la hipertrofia y más probablemente asociadas con el desarrollo neural (Myer et al., 2011).

Por otra parte, las estructuras músculo-tendinosas en estas edades son más compliantes que en posteriores fases de crecimiento, desempeñando un papel clave en la protección de los niños más pequeños de las lesiones deportivas (Kubo et al., 2001).

2.3.1.2. Adolescencia temprana - Pubertad: Infantiles (de 13 a 14 años).

La etapa de infantiles coincide con la fase inicial, a nivel biológico, de lo que conocemos como adolescencia temprana, pubertad o también conocido como primera adolescencia (del inglés, “*maturity onset*”) (Brown et al., 2017).

Esta etapa del desarrollo se caracteriza principalmente por los cambios hormonales a nivel del hipotálamo, los cuales van a provocar una tasa acelerada de crecimiento caracterizada por un pico brusco en la velocidad de crecimiento de las extremidades y el peso (Philippaerts et al., 2006). Esta etapa de madurez sexual destaca por ser un período de modificaciones corporales intensas, debido a alteraciones y adaptaciones no solo neuronales, propias de la etapa anterior, si no también hormonales y metabólicas que estimulan de forma más pronunciada las ganancias de masa muscular a partir de los 12 años (Roemmich & Rogol, 1995). Concretamente, a partir de estas edades se produce un crecimiento en la secreción de hormonas androgénicas anabólicas, principalmente la testosterona sérica y la hormona de crecimiento (GH, del inglés “*growth hormone*”) (Hansen et al., 1999; Viru et al., 1999). Se considera la tasa máxima de crecimiento lineal del esqueleto (un promedio de 9 cm durante) se da alrededor de la edad de 14 años en varones (Brown et al., 2017; Mirwald et al., 2002).

Este acusado crecimiento en las dimensiones corporales (causado principalmente por el crecimiento repentino de huesos, tendones, ligamentos y músculos) puede causar desproporciones entre miembros inferiores y miembros superiores en cuanto a tamaño, lo que puede provocar que las capacidades coordinativas se vean afectadas, principalmente, por una alteración brusca y transitoria del esquema corporal (Quatman-Yates et al., 2012). Es por ello que, durante el crecimiento acelerado del adolescente (entre 12 y 14 años de edad), multitud de estudios hayan demostrado la existencia de un período transitorio de

disminución de la coordinación motora (Beunen & Malina, 1988; Lillegard et al., 1997; Malina, 1994). Pudiendo ser un factor de riesgo de lesión importante en estas edades (Malina, 2010), estos autores realizaron un seguimiento durante seis años en 292 niños de 9 a 16 años de edad de una academias de fútbol de élite de la Premier League inglesa con el objetivo de investigar la asociación de la edad esquelética relativa junto a otros factores de riesgo en la incidencia de lesiones. El estudio sugirió que los niños entre 13 y 14 años tenían un alto riesgo de lesiones en el entrenamiento y los partidos quizás debido a niveles inferiores de fuerza muscular, potencia y coordinación.

En definitiva, se puede considerar esta etapa de fútbol en categoría infantil como una de las fases más críticas o sensibles del desarrollo físico, la cual no se pueden desaprovechar para el desarrollo de adaptaciones de ciertas capacidades físicas y coordinativas, ya que se considera un momento de entrenamiento oportuno para que el joven deportista alcance su futuro potencial en las posteriores categorías (ver Figura 7).

MODELO DE DESARROLLO FÍSICO JUVENIL																					
EDAD CRONOLÓGICA	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+				
PERIODOS DE EDAD	PREPUBERTAD							ADOLESCENCIA										ADULTEZ			
CUALIDADES FÍSICAS	HMB		HMB		HMB																
	HDE		HDE		HDE																
	Movilidad							Movilidad													
	Agilidad							Agilidad				Agilidad									
	Velocidad							Velocidad				Velocidad									
	Potencia							Potencia				Potencia									
	Fuerza							Fuerza				Fuerza									
	Hipertrofia							Hipertrofia		Hipertrofia						Hipertrofia					
	Resistencia							Resistencia				Resistencia									

Figura 7. Modelo de desarrollo físico en diferentes etapas del desarrollo formativo. El tamaño de fuente se refiere a la importancia; los cuadros azules claros se refieren a periodos de adaptación preadolescentes, los cuadros azules oscuros se refieren a periodos de adaptación de los adolescentes. HMB = habilidades motrices básicas; HDE = habilidades deportivas específicas. Fuente: Modificado de Lloyd & Oliver (2012).

2.3.1.3. *Adolescencia: Cadetes (de 15 a 16 años).*

Es en la adolescencia, en edades en torno a los 15-16 años de edad (PHV/post - PHV), cuando se detiene el incesante ritmo de crecimiento en la estatura (disminución de la tasa de crecimiento) (Nikolaidis & Vassilios Karydis, 2011). No obstante, el peso sigue experimentando ganancias rápidas a causa de un aumento del porcentaje de masa magra corporal (LBM), del inglés “*lean body mass*”), debido al desarrollo del tejido muscular relacionado con la hipertrofia muscular dependiente del aumento de las concentraciones circulantes de andrógenos, concretamente de la testosterona (Hernández et al., 2018; Nikolaidis & Vassilios Karydis, 2011; Viru et al., 1999).

Lambertz et al. (2003) observaron que el aumento máximo de la masa muscular se produce a partir de estas edades, después de que la velocidad de crecimiento haya alcanzado su punto máximo en los hombres. Del mismo modo Kanehisa et al. (1995) observaron un aumento intensivo del CSA del músculo y de las fibras musculares con la edad, informando de que los grupos de mayor edad eran significativamente más fuertes y con una mayor CSA muscular que los grupos de menor edad. En la misma línea, Hernández et al. (2018) en un reciente estudio con jugadores jóvenes de fútbol en el que se determinó el pico de crecimiento, el estado madurativo y se analizaron las medidas antropométricas relacionadas con el desarrollo corporal, como se muestra en la Figura 8, reportaron incrementos en las áreas musculares tras el pico de crecimiento. Este hecho comienza a ser especialmente notable en el rango de edad correspondiente a la categoría cadete y juvenil.

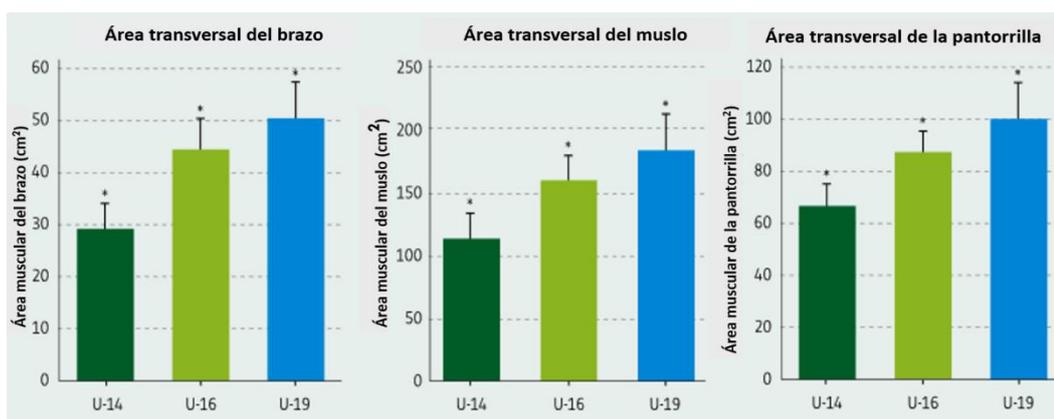


Figura 8. Incrementos en las áreas transversales de los músculos. Fuente: Modificado de Hernández Camacho et al. (2018).

Por lo tanto, a partir de este periodo de edad, debido a la rápida adaptación de las dimensiones corporales y al aumento de la masa muscular se recuperará la pérdida de coordinación provocada por el “estirón” vivido durante la pubertad, mejorando la capacidad para realizar tareas que requieren mayores niveles de fuerza muscular y coordinación motriz (Lloyd et al., 2014).

2.3.1.4. Adolescencia avanzada: Juveniles (de 16 y a 19 años).

Es en esta etapa de desarrollo (post-PHV), conocida como adolescencia avanzada, se alcanza la madurez física completa, lográndose una estabilización de la talla y el peso (Brown et al., 2017; Portella et al., 2011). Los aumentos en la masa muscular en esta etapa son mayores que en cualquier otra edad (ver Figura 8), aunque a un ritmo más lento (Hernández et al., 2018; Soarez et al., 2012). Los cambios en las propiedades morfológicas del músculo que se dan en estas edades, también van a venir acompañados de cambios en las propiedades mecánicas y estructurales, mediante una disminución en la complianza muscular y un aumento de la “*stiffness*” muscular (Charcharis et al., 2019; Kubo et al., 2001).

Así pues, en estas últimas categorías de formación las adaptaciones al entrenamiento relacionadas con la madurez suelen ser el resultado del aumento de las concentraciones de andrógenos, la diferenciación del tipo de fibra, los niveles de fosfato de creatina y un mayor desarrollo arquitectónico de las unidades musculo-tendinosas (Hernández et al., 2018; Myer et al., 2011). Por lo tanto, el control motor y la fuerza, como veremos en apartados posteriores, pueden estar más relacionados con el aumento de hipertrofia muscular.

No obstante, durante estas edades de la adolescencia, el deportista ha alcanzado una mayor madurez neural (se supone que se ha completado proceso mielinización) (Viru et al., 1999), y por lo tanto, un mejor control de la función/actividad muscular (reclutamiento sincrónico de todas las unidades motoras de los músculos agonistas) la cual en edades anteriores estaba menos desarrollada. Este factor también va a permitir mejores niveles de fuerza y coordinación motora (Kraemer et al., 1989; Myer et al., 2011).

ETAPAS DE DESARROLLO DENTRO DE LAS CATEGORÍAS DE EDAD DEL FÚTBOL																		
EDAD CRONOLÓGICA	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+	
PERIODOS DE EDAD	PREPUBERTAD						ADOLESCENCIA						ADULTEZ					
TASA DE CRECIMIENTO	↔ CRECIMIENTO CONSTANTE ↔						TASA MÁXIMA DE CRECIMIENTO ↔						↔ ESTABILIZACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO ↔					
ESTATUS DE MADURACIÓN	AÑOS PRE - PHV						← PHV →						AÑOS POST - PHV					
ADAPTACIONES AL ENTRENAMIENTO	PREDOMINANTEMENTE NEURONALES ↔						COMBINACIÓN NEURAL Y HORMONAL											

Figura 9. Etapas de desarrollo durante las categorías de formación. PHV = peak height velocity. Fuente: Modificado de Lloyd & Oliver (2012).

Una vez estudiadas las características de cada una de las etapas de crecimiento y desarrollo que se dan en las distintas categorías competitivas del fútbol formativo (ver Figura 9), se puede entender mejor cómo evolucionan de forma natural, e independientemente del entorno y estímulos de entrenamiento, las capacidades más determinantes del ROM activo (la fuerza, la flexibilidad y el control motor). A partir de ello podremos entender como el proceso de entrenamiento y formación del joven jugador de fútbol puede afectar al desarrollo de estas capacidades (Feldman et al., 1999; Rommers et al., 2019).

Como se ha indicado anteriormente, estas etapas sensibles constituyen momentos de gran adaptabilidad en el desarrollo de cada una de las capacidades citadas, siendo muy importante su aprovechamiento inmediato (Lillegard et al., 1997). El rendimiento de estas capacidades y, por lo tanto, también del ROM activo, están comprometidas por la edad y el nivel de desarrollo evolutivo de los jugadores (García-Pinillos et al., 2014), así como la naturaleza de los estímulos ambientales- contextuales que modulen dicho desarrollo (Alesi et al., 2015; Brown et al., 2017).

El entrenamiento deportivo es uno de los factores contextuales más importantes, dado que suele incidir de forma específica en el desarrollo de las capacidades físicas y coordinativas del practicante (Marques et al., 2017). La priorización del entrenamiento de cada una de estas capacidades ha de adaptarse y respetar el desarrollo evolutivo y madurativo del joven futbolista (Lloyd et al., 2015; Philippaerts et al., 2006).

Una vez estudiadas las distintas etapas de desarrollo y crecimiento por las que atraviesa el jugador de fútbol durante su etapa formativa, pasamos a analizar de forma específica la evolución de las capacidades de fuerza, control motor y flexibilidad dentro de cada una de las categorías de formación.

2.3.2. Desarrollo evolutivo de la de fuerza en fútbol.

Los entrenadores y preparadores físicos se cuestionan muchas veces cuándo y cómo se puede entrenar a los jugadores jóvenes para mejorar sus niveles de fuerza (Kraemer et al., 1989). Con el fin de intentar aclarar algunas cuestiones relacionadas con esta problemática, consideramos que es importante conocer el patrón de desarrollo evolutivo "normal" (como consecuencia del crecimiento) de la fuerza en las diferentes categorías de edad.

La evidencia científica existente parece confirmar que el rendimiento en esta capacidad aumenta con la edad durante el periodo de maduración fisiológica en jóvenes futbolistas (Mendez-Villanueva et al., 2011). Este hecho es atribuible a los cambios en el crecimiento y la maduración, siendo la interacción de la estatura, la masa corporal magra, las respuestas hormonales (la hipertrofia tisular) y el desarrollo neuronal las principales variables que afectan a la evolución de esta capacidad neuro-musculo-esquelética (Beunen & Malina, 1988; Croix, 2007; Kanehisa et al., 1995).

El desarrollo y organización del entrenamiento de esta capacidad en el fútbol, cuyos factores están en continuo cambio, debe de adaptarse a este ritmo evolutivo, cuyas adaptaciones interactúan con la plasticidad fisiológica disponible en cada edad de desarrollo de manera progresiva a medida que el estado madurativo aumenta y cuyo rendimiento tiende a estabilizarse una vez alcanzado el proceso de crecimiento y de maduración biológica (Kraemer et al., 1989; Soarez et al., 2012) (ver Figura 10).

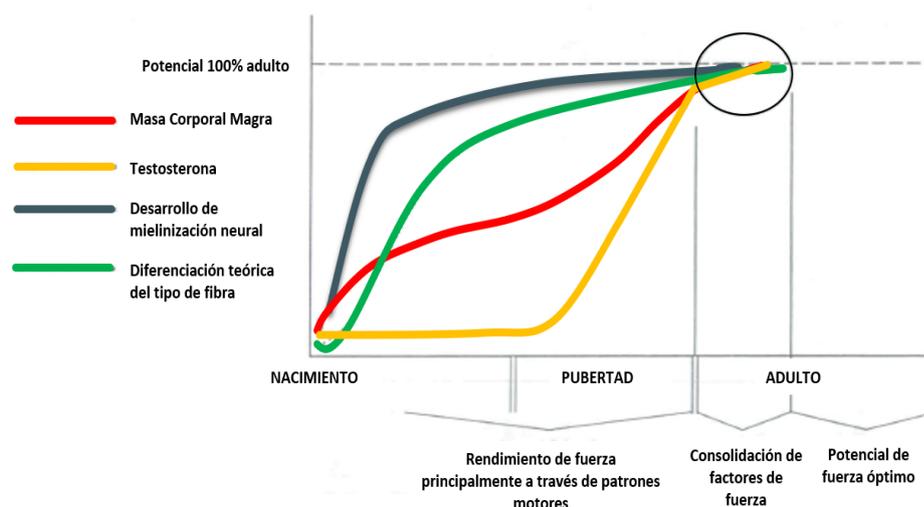


Figura 10. Modelo teórico interactivo para la integración de factores de desarrollo relacionados con el potencial de adaptaciones y rendimiento de la fuerza muscular. Fuente: Modificado de Kraemer et al. (1989) citado en Myer et al. (2011).

A continuación, describiremos con mayor detalle la evolución y variaciones de esta capacidad física a lo largo de cada una de las fases sensibles que se dan en las distintas categorías competitivas del fútbol base.

2.3.2.1. La fuerza en las categorías de benjamines y alevines (de 8 a 12 años).

Como se ha indicado anteriormente, la manifestación de la fuerza depende tanto de factores musculares o mecánicos, como de factores neuronales (Aagaard, 2003; Croix, 2007; Ramsay et al., 1990). Por lo tanto, en estas primeras etapas formativas, dada la limitación de los jóvenes jugadores para segregarse las hormonas relacionadas con el desarrollo muscular que limitan el aumento del área de la sección transversal del músculo (tienen más dificultades para aumentar el tamaño muscular) (Hansen et al., 1999), y que el sistema nervioso se encuentra en una fase sensible de desarrollo, en estas categorías de formación una serie de factores neuronales en lugar de la hipertrofia muscular son los

responsables de las ganancias y de la producción de los niveles de fuerza (Granacher et al., 2011).

Las ganancias en esta capacidad física se pueden ir logrando desde las edades tempranas del desarrollo en los jugadores jóvenes de fútbol (Behringer et al., 2011; Granacher et al., 2011). A pesar de que es en las edades próximas al PHV cuando se logran las ganancias más rápidas en la fuerza muscular (mayores efectos de entrenamiento) (Philippaerts et al., 2006), Myer et al. (2011) resaltaron la importancia de aprovechar la plasticidad del sistema nervioso durante las etapas más tempranas para iniciar el entrenamiento neuromuscular integrado llamado INT (del inglés “*Integrative Neuromuscular Training*”) con el objetivo de optimizar y maximizar el potencial de desarrollo de las habilidades motoras en edades posteriores y adultas. Es por ello que los autores propusieron un modelo conceptual que, como se muestra en la Figura 11 compara los efectos del entrenamiento neuromuscular iniciado en diferentes momentos del desarrollo.

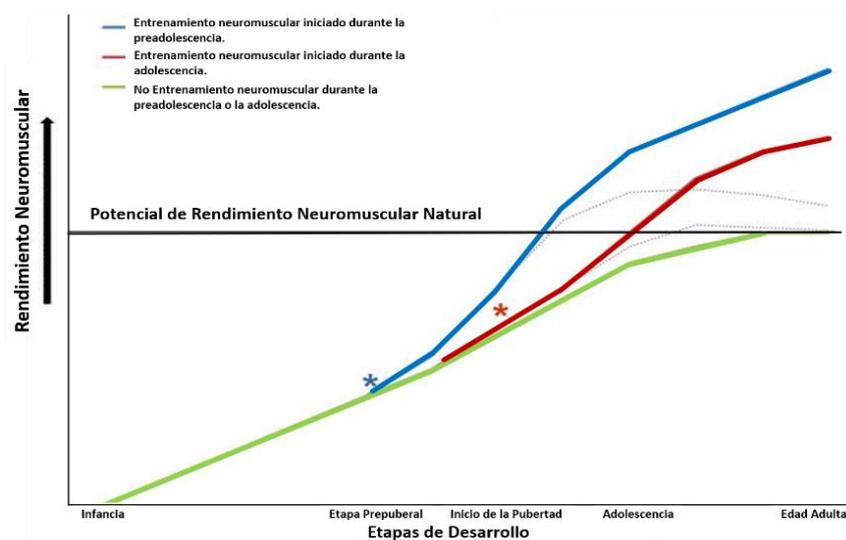


Figura 11. Modelo conceptual que compara los efectos del entrenamiento neuromuscular iniciado en diferentes momentos del desarrollo. “*” Representa el inicio durante la preadolescencia (Azul) y la adolescencia (Rojo) que probablemente mejorarán la capacidad motora y el rendimiento más allá del potencial natural del adulto (sin dicho entrenamiento). Fuente: Modificado de Myer et al. (2011).

2.3.2.2. La fuerza en la categoría de infantil (de 13 a 14 años).

Es en este grupo de edad, situado cerca del PHV, donde se encuentra una ventana de adaptación acelerada al entrenamiento de fuerza. El pico de crecimiento máximo para la fuerza se experimenta alrededor de los 14 años de edad (Mirwald et al., 2002; Philippaerts et al., 2006), y por tanto consideramos que esta capacidad ha de ser estimulada de forma especial en estas edades (Croix, 2007).

El aumento en las ganancias de fuerza relacionado con la PHV se atribuye a que la estatura, junto el peso, el tamaño muscular y la maduración (endocrina y neurológica) contribuyen al desarrollo de la manifestación de fuerza en estas edades (Croix, 2007; Degache et al., 2010). En este sentido, Portella et al. (2011) indicaron que la fuerza, concretamente en su manifestación explosiva de miembros inferiores, en diferentes categorías del fútbol base, presenta aumentos progresivos desde los 12 hasta los 18 años, determinando que, a pesar de que los mayores valores se encontraron a partir de los 15

hasta 18 años, destacan los aumentos significativos que tienen lugar en esta variable a partir de los 13 y 14 años. Hansen et al. (1999) observaron una relación positiva significativa entre el desarrollo de fuerza y la concentración sérica de testosterona en futbolistas de estas edades. Estos estudios dan a entender que, a pesar de que los valores de fuerza registrados a estas edades no son muy altos, parece estar claro que las mejoras empiezan a ser más evidentes a finales de esta categoría de edad competitiva, debidos a su proximidad al PHV.

2.3.2.3. La fuerza en las categorías de cadetes y juveniles (de 15 a 19 años).

En relación con la anterior categoría de edad competitiva, varios estudios han demostrado que la mejoría de la fuerza experimenta su crecimiento máximo tras el PHV (Lloyd & Oliver, 2012; Viru et al., 1999; Yagüe & De La Fuente, 1998). Según Beunen & Malina (1988) citado en Lloyd & Oliver (2012), la fase sensible para el desarrollo de esta capacidad en los jóvenes comienza alrededor de 1,5 años antes del PHV y alcanza su pico aproximadamente entre 12 y 18 meses después del PHV, que generalmente coincide con el pico de velocidad de peso (PWV, del inglés “*peak weight velocity*”).

A partir de estas edades de cadetes y juveniles es cuando se da una aceleración en el ritmo de aumento de la fuerza muscular, debido al aumento en el porcentaje de masa muscular (LBM, del inglés “*Lean body mass*”), en la hipertrofia muscular (aumento en el CSA) y en el tamaño y peso corporal (Calahorra et al., 2012; Croix, 2007; Lloyd & Oliver, 2012), junto a un mayor control neural de la actividad muscular (inervación y contractilidad) dependientes de la mielinización completa (Viru et al., 1999). Así pues, estas mejoras dependientes de la edad, hacen de esta etapa un momento particularmente importante en el desarrollo de esta capacidad (Lloyd et al., 2015).

En esta etapa es cuando se suele dar la especialización deportiva, lo que provoca mayores adaptaciones musculares específicas a la modalidad practicada. Además, a partir de estas categorías de formación, el aumento del volumen de entrenamiento y número de competiciones influyen notablemente en el desarrollo y mejora de las manifestaciones de fuerza específicas del fútbol (Bowen et al., 2017; Read et al., 2018).

García-Pinillos et al. (2014) analizaron la influencia de la categoría de edad sobre la capacidad de salto y velocidad de golpeo en futbolistas jóvenes. Este estudio demostró que los jugadores de mayor edad alcanzaban una mayor altura en el salto con contramovimiento (CMJ, del inglés “*Counter Movement Jump*”) y una mayor velocidad de golpeo. Esta mejora se explicó por los mayores niveles de fuerza de los músculos implicados, así como una mejor coordinación entre agonistas y antagonistas. Así pues, tanto los cambios cuantitativos (derivados del nivel de madurez biológica) como los cambios cualitativos (mejora en el control neuromuscular) influyen significativamente en la capacidad funcional de los futbolistas adolescentes, particularmente en la capacidad de fuerza del tren inferior (Malina et al., 2004).

Durante el desarrollo evolutivo de la fuerza, los jugadores no podrán expresar correctamente esta capacidad si la coordinación entre los distintos grupos musculares del cuerpo a la hora de realizar los movimientos (local y general) no es la adecuada (Alves et al., 2018; Chew-Bullock et al., 2012). Una vez expuestas las diferentes etapas de desarrollo de la fuerza, en el siguiente subapartado vamos a pasar a describir la evolución de las capacidades de control motor en el fútbol.

2.3.3. Desarrollo evolutivo del control motor en fútbol.

Varios programas de identificación y desarrollo de jugadores talentosos en el fútbol han implementado distintos sistemas para medir el nivel del control motor de los jugadores, como la coordinación, la estabilidad dinámica general y segmentaria, el control y el equilibrio postural (Deprez et al., 2015; Zago et al., 2020; Zalai, 2015). Sin embargo, la influencia de la maduración en el control motor y postural entre jugadores de fútbol jóvenes no se ha estudiado utilizando un amplio rango de edad. Así pues, existen pocos trabajos que hayan abordado el estudio de la relación entre el nivel de desarrollo del control motor y el rendimiento en las diferentes categorías de edad competitivas en el fútbol (Zago et al., 2020). El estudio de la respuesta del control motor en los atletas durante su desarrollo permite conocer y comprender los momentos críticos de esta capacidad durante las fases de aprendizaje y, por lo tanto, mejorar las intervenciones físico-técnicas y sensoriales dentro del proceso de entrenamiento-formación.

A continuación, describiremos con detalle la evolución y variaciones de esta capacidad física a lo largo de cada una de las fases sensibles que se dan en las distintas categorías competitivas del fútbol base.

2.3.3.1. El control motor en las categorías de benjamines y alevines (de 8 a 12 años).

En estas edades, la práctica de actividad física en general, y de fútbol en particular, es una excelente herramienta para el aprendizaje de las habilidades motoras-coordinativas (Alesi et al., 2015), en la que el joven jugador, el cual se sitúa entre cuatro y dos años de alcanzar el pico de crecimiento, todavía no ha alcanzado una buena estabilidad en los diferentes planos del movimiento (Zago et al., 2020). En estas categorías de edad la

práctica deportiva supone una ventana de adaptación acelerada a la coordinación motora (Deprez et al., 2015) suponiendo un momento perfecto para desarrollar programas de desarrollo del control motor. En base a estas se podrán adquirir habilidades deportivas generales que serán un pilar fundamental para una mejor, y posiblemente más rápida, adquisición de habilidades generales y específicas claves para su desarrollo deportivo en general, y en el ámbito del fútbol en particular (Kokstejn et al., 2019). En estas edades, al igual que la fuerza, el control motor puede estar menos relacionado con la hipertrofia y más probablemente asociados con el desarrollo neural del joven deportista (Myer et al., 2011). Estos autores, proponen que el entrenamiento neuromuscular integrador, centrado en la aptitud física relacionada con las habilidades de coordinación y de equilibrio puede maximizar el desarrollo neuronal durante esta etapa y preparar de manera óptima al deportista a un mejor rendimiento motor después del inicio de la pubertad.

2.3.3.2. El control motor en las categorías de infantiles (de 13 a 14 años).

A pesar de que en la categoría de infantiles el joven deportista ha alcanzado distintas adaptaciones estructurales y funcionales en el sistema de control postural inducidas por el aprendizaje motor de las categorías anteriores y a pesar de que los aumentos fisiológicos del crecimiento que se dan en esta etapa son mayores que en cualquier otra edad (Roemmich & Rogol, 1995). Durante el inicio de la pubertad, debido a los cambios rápidos e incontrolados en el crecimiento físico y en las habilidades motoras, existe una alteración de las habilidades y destrezas coordinativas, con movimientos torpes y pesados que, a medida en que el jugador se acerca a la adolescencia mejoran notablemente (Zago et al., 2020).

Como ya se ha explicado en apartados anteriores (ver subapartado 2.3.1), estas categorías de edad se caracterizan por una aceleración explosiva del crecimiento (PHV) que, a pesar de los aumentos en su capacidad para realizar tareas que requieren fuerza muscular, provoca un período transitorio de deficiencia en la coordinación motora por una peor sensibilidad propioceptiva (Zago et al., 2020), que dificulta las habilidades para controlar y regular movimientos coordinados complejos (Beunen & Malina, 1988; John et al., 2019; Malina, 1994).

Según una revisión llevada a cabo por Quatman-Yates et al. (2012) existen evidencias de que durante la transición de la etapa prepuberal a la puberal pueden ocurrir regresiones/retrasos en varios mecanismos sensoriomotores y de control motor, consideraron que este período de falta de control motor probablemente se deba por el crecimiento inconsistente de las partes inferiores y superiores del cuerpo, así como con los cambios de maduración durante esta etapa de la adolescencia en la que se ve envuelto el jugador infantil (Paillard, 2017). Además, este es un período importante y difícil de desarrollo del control motor en jugadores de fútbol debido al aumento significativo de la carga de entrenamiento, la fatiga y la participación en competiciones respecto a las categorías de benjamines y alevines (Bieć et al., 2015).

2.3.3.3. El control motor en las categorías de cadetes y juveniles (de 15 a 19 años).

En esta etapa que corresponde a la adolescencia, la coordinación motora general y específica, así como la agilidad, continúan mejorando y desarrollándose durante la adolescencia media y avanzada (Malina, 1994; Roemmich & Rogol, 1995), aunque a un menor ritmo que en la etapa infantil (Brown et al., 2017). En un reciente estudio en que

se estudiaron parámetros cuantitativos estabilométricos durante el desarrollo de jóvenes futbolistas (de 9 a 17 años), Zago et al. (2020) observaron que varios parámetros relacionados con el control postural y la sensibilidad propioceptiva (variabilidad de movimiento, magnitud del área de balanceo, velocidad de oscilación, área del centro de presiones) mejoraron con la edad hasta alcanzar un estado/momento de madurez “0” (PHV), mientras que, tras esas edades, los valores de dichas variables asociadas al control postural fueron más estables.

Los aumentos en los componentes antropométricos y en las áreas musculares propios de estas edades de maduración biológica tras el pico de crecimiento (Hernández et al., 2018), acompañado por una mejor gestión e integración del sistema vestibular, propioceptivo y sensorial, tendrán como resultado una notable mejora en las acciones sinérgicas de las articulaciones de tobillo, rodilla y cadera que resultan claves para controlar y limitar los grados de libertad. Esto se traducirá en un mejor desarrollo del control neuromotor y propioceptivo respecto a los jugadores de categorías inferiores, contribuyendo positivamente a mejorar las habilidades técnicas del fútbol (Lipecki, 2018). A esto hay que sumarle un aumento del volumen, intensidad y variedad de la experiencia deportiva que existe en la última etapa formativa con una mayor exposición a situaciones que requieren un nivel de control motor más exigente (Leyhr et al., 2018; Wrigley et al., 2012).

Una vez expuestas las diferentes etapas de desarrollo de la fuerza, y el control motor, en el siguiente subapartado vamos a pasar a describir el efecto de la práctica del fútbol sobre la evolución de esta capacidad y sus peculiaridades de la flexibilidad a lo largo de las distintas categorías de edad del fútbol base.

2.3.4. Desarrollo evolutivo de la flexibilidad y entrenamiento en fútbol.

La flexibilidad es una capacidad física que parece disminuir claramente con la edad (Araújo, 2008; Gleim & McHugh, 1997; McKay et al., 2017; Medeiros et al., 2013). No obstante, debido a que la flexibilidad puede resultar específica para cada articulación (Zakas et al., 2002), esta afirmación hay que tomársela con cautela ya que algunos estudios han descrito que en ciertas fases del desarrollo algunas articulaciones aumentan su rango de movimiento mientras que otras ven como disminuye su ROM (Cejudo et al., 2019; Medeiros et al., 2013). Aunque la relación entre edad y flexibilidad no se ha definido claramente, lo que sí que parece estar bastante claro es que los cambios biológicos (como el aumento en la rigidez del tendón), los cambios en las cápsulas articulares o los cambios en las propiedades contráctiles de músculo podrían ser factores responsables de esta disminución a medida que aumenta la edad (Adams et al., 1999; Kubo et al., 2001) citado por Cejudo et al. (2019).

En el ámbito del fútbol formativo, la flexibilidad ha sido mucho menos estudiada que otras capacidades físicas. Existen pocos estudios que hayan estudiado la evolución de la flexibilidad a lo largo de las distintas categorías de edad en jugadores de fútbol (Cejudo et al., 2019; Nikolaïdis, 2012; Portella et al., 2011; Rolls & George, 2004; Vaeyens et al., 2006), y sus hallazgos resultan controvertidos.

Varios son los estudios que han informado de una tendencia general hacia la reducción de la flexibilidad, cuando los jugadores van pasando a categorías de mayor edad, mediante test angulares (Rolls & George, 2004) y mediante pruebas de valoración basadas en medidas longitudinales (Alvarez et al., 2003; Portella et al., 2011; Sedano et al., 2007). Además de los cambios biológicos, citados en el apartado anterior, esta tendencia a que exista una mayor flexibilidad de los futbolistas más jóvenes respecto a sus homólogos de mayor edad también se puede deber a las adaptaciones

musculoesqueléticas, fruto de los continuos tipos de esfuerzos de este deporte a lo largo de la carrera deportiva (Cañada et al., 2012). A ello se puede añadir una falta de atención al entrenamiento-desarrollo de esta capacidad durante las sesiones de entrenamiento (Stojanovic & Ostojic, 2011). No obstante, otros estudios que también emplearon pruebas de valoración basadas en medidas longitudinales y que en cambio reportaron mayores valores de flexibilidad en las categorías de edad más adultas fueron los de Calahorro et al., (2012), Nikolaïdis (2012) o Vaeyens et al., (2006). En este sentido, y al hilo de lo comentado anteriormente sobre la especificidad articular de esta capacidad, un reciente estudio de Cejudo et al. (2019) ha mostrado que, a pesar de que en la mayoría de las pruebas de valoración de flexibilidad de las extremidades inferiores se observó una reducción de esta capacidad cuando los jugadores pasaban de una categoría de mayor edad, en alguna de las pruebas, concretamente la que midió la flexión máxima pasiva de cadera con rodilla extendida (músculos isquiosurales), los jugadores de mayor edad mostraron mejores valores que los más jóvenes. Estos autores discuten sus hallazgos alegando que, durante la pubertad, se da un mayor desarrollo óseo de miembros inferiores (fémur) respecto a la longitud muscular, lo que puede conllevar un desarrollo análogo de las propiedades funcionales y mecánicas del componente músculo-tendón con el sistema esquelético (Charcharis et al., 2019), pudiendo afectar al ROM de ciertas articulaciones cuyos músculos son biarticulares.

Cabe resaltar que la mayoría de los estudios se han centrado en los cambios evolutivos de la flexibilidad pasiva/estática de la musculatura isquiosural (ver Tabla 1) (Alvarez et al., 2003; Calahorro et al., 2012; Nikolaïdis, 2012; Portella et al., 2011; Rolls & George, 2004; Sedano et al., 2007; Vaeyens et al., 2006), empleando tanto pruebas de valoración basadas en medidas longitudinales, como el SAR (del inglés "*sit-and-reach test*") y el "*toe-touch test*" (Alvarez et al., 2003; Calahorro et al., 2012; Nikolaïdis, 2012;

Portella et al., 2011; Sedano et al., 2007) como pruebas angulares como el test *PSLR* (del inglés “*passive straight leg raise*”) (Cejudo et al., 2019; Rolls & George, 2004). Estos factores relacionados con la validez interna y externa en los procedimientos empleados para la evaluación de la flexibilidad, junto a que en la mayoría de los estudios la muestra está compuesta por participantes solo de algunas edades de las categorías competitivas (e.g., Alvarez et al., 2003; Calahorro et al., 2012; Sedano et al., 2007), hacen que resulte complicada y controvertida la interpretación de los resultados obtenidos (ver Tabla 1), dificultando la obtención de conclusiones sólidas sobre la evolución de esta capacidad a lo largo del crecimiento.

Tabla 1. Estudios investigando la relación entre la flexibilidad isquiosural y la edad.

<i>Estudio</i>	<i>Tipo de test</i>	<i>Edades participantes</i>	<i>Principales hallazgos</i>
<i>Cejudo et al. (2019)</i>	<i>Test angulares pasivos (PSLR)</i>	<i>10-19</i>	<i>U10 y / o U12 obtienen el valor medio más alto en casi todos los ROM evaluados, menos en la flexión de cadera con pierna recta.</i>
<i>Nikolaïdis (2012)</i>	<i>sit-and-reach test (SAR)</i>	<i>10-22</i>	<i>Cuanto mayor es el grupo de edad, mayor es el valor en el SAR.</i>
<i>Calahorro et al. (2012)</i>	<i>sit-and-reach test (SAR)</i>	<i>13-18</i>	<i>Mejora en esta cualidad, a medida que aumenta la edad de los futbolistas.</i>
<i>Portella et al. (2011)</i>	<i>sit-and-reach test (SAR)</i>	<i>11-18</i>	<i>La flexibilidad disminuye con el transcurso de la edad.</i>
<i>Sedano et al. (2007)</i>	<i>sit-and-reach test (SAR)</i>	<i>7-14</i>	<i>El punto más bajo de flexibilidad se corresponde con la fase de la pubertad.</i>
<i>Vaeyens et al. (2006)</i>	<i>sit-and-reach test (SAR)</i>	<i>12.16</i>	<i>La flexibilidad no difiere entre U13 y U14, pero es significativamente mayor entre U15- U16</i>
<i>Rolls & George (2004)</i>	<i>sit-and-reach (SAR), straight leg raise (SLR), active knee extension (AKE), passive knee extension (PKE) y seated knee extension (SKE).</i>	<i>9-19</i>	<i>El SLR, AKE, PKE y SKE, disminuyó en el grupo de edad más avanzada. Para el SAR aumentó con la edad.</i>
<i>Alvarez, Mallén, & Virón (2003)</i>	<i>Test flexión profunda del tronco</i>	<i>9-14</i>	<i>Entre los 11 y 13 años se obtienen peores resultados.</i>

A continuación, describiremos con mayor detalle la evolución y variaciones de esta capacidad física a lo largo de cada una de las fases sensibles que se dan en las distintas categorías competitivas del fútbol base.

2.3.4.1. La flexibilidad en las categorías benjamín y alevín (de 8 a 12 años).

Varios estudios han informado que los mayores valores de flexibilidad encontrados en futbolistas se han dado en estas categorías de edad (Alvarez et al., 2003; Sedano et al., 2007), siguiendo el patrón que se suele observar en escolares que no practican este deporte (Sánchez & Román, 2003).

Durante estas edades se logran grandes amplitudes de movimiento debido a las propiedades inmaduras de las estructuras músculo-tendinosas (Grosset et al., 2007; Kubo et al., 2001; Lambertz et al., 2003). Es al final de esta etapa y en adelante cuando se ha observado un aumento en la rigidez muscular y una disminución de la flexibilidad debido a la maduración de los tejidos elásticos. En este sentido, Lambertz et al. (2003), evaluaron la rigidez musculo-tendinosa del tríceps sural en niños prepúberes de 7-10 años de edad, observando que la rigidez era menor en los primeros estadios de esta etapa (7 y 8 años) y que aumentó en el grupo de 10 años. El estudio concluyó que tanto la rigidez activa (rigidez proporcional a la fuerza generada por el músculo) como la pasiva (rigidez que viene dada por las propiedades elásticas del conjunto muscular en ausencia de contracción) aumentan con la edad, confirmando que los cambios ultraestructurales debidos al crecimiento aumentan la rigidez de los tendones se vuelven. En la misma línea, Grosset et al. (2007) examinaron los reflejos de estiramiento y la rigidez musculo-tendinosa en las extremidades inferiores de 48 niños prepúberes, observando que el reflejo de estiramiento y la rigidez musculo-tendinosa activa aumentaba con la edad (de 7 a 11 años), concluyendo que los niños tienen una tolerancia extremadamente baja a las cargas de estiramiento, la cual aumenta con la edad.

En este sentido, Lloyd & Oliver (2012), en su modelo de desarrollo del joven deportista, proponen que durante la infancia media (de 5 a 11 años) es el momento ideal

para incorporar el entrenamiento de flexibilidad y movilidad, justificando que coincide con el período crítico de desarrollo de esta capacidad y supondrá un trabajo de base fundamental para futuras categorías.

2.3.4.2. La flexibilidad en la categoría infantil (de 13 a 14 años).

Sedano et al. (2007) observaron en 106 jóvenes futbolistas varones federados desde las categorías prebenjamín hasta infantil (7-14 años) que los valores de flexibilidad encuentran su punto álgido entre los 7 y los 8 años, disminuyendo a partir de ahí con la edad, siendo en la fase de la pubertad (etapa de crecimiento donde más se están modificando las proporciones tronco-pierna), donde se aceleran las pérdidas, concretamente en los grupos de 11 y 14 años. Del mismo modo, Álvarez et al. (2003), en una muestra similar al anterior estudio (de 9 a 14 años), reportaron los valores más bajos de flexibilidad en los grupos de 11 a 14 años, donde los niños tenían verdaderas dificultades para alcanzar la punta de los pies.

Durante estas edades (fase del PHV) el desarrollo del esqueleto (velocidad de crecimiento longitudinal del hueso) suele ocurrir antes del crecimiento del elemento musculo-tendinoso, especialmente en los hombres (Roemmich & Rogol, 1995). Este patrón de crecimiento puede ser el motivo por el cual muchos estudios indican una involución de la flexibilidad músculo-tendinosa en futbolistas de estas edades (Portella et al., 2011; Sedano et al., 2007).

2.3.4.3. La flexibilidad en las categorías de cadetes y juveniles (de 15 a 19 años).

Portella et al. (2011) analizaron en 369 futbolistas de 12 a 18 años, comprobando que los mayores niveles de flexibilidad se observaron entre los 12 y los 13 años, y que es a partir de los 14-15 años cuando los niveles de esta capacidad empiezan a estabilizarse y a disminuir hasta los 18 años. Dicho de otro modo. Parece ser que, una vez se alcanza la adolescencia, esta cualidad se estabiliza y luego empieza a disminuir.

En estos grupos de edad la disminución de la flexibilidad, especialmente de los miembros inferiores, va en relación directa con el aumento de la hipertrofia muscular, creándose unas estructuras más rígidas y con menor ADM articular (Vidal et al., 2011). Esta condición estructural y morfológica del complejo musculo-tendinoso se acentúa con los años de especialización deportiva debido a la naturaleza de las acciones repetidas que se dan en el fútbol a estas edades (Mendez-Villanueva et al., 2011). Según algunos estudios, estas acciones provocan una respuesta adaptativa de los tejidos blandos que envuelven las articulaciones y que provocan una pérdida de ROM de las mismas, aumentando el riesgo de desequilibrio muscular en estas edades (Mahrova et al., 2014). Este tipo de desequilibrios se daría sobre todo en aquellas articulaciones cuyos grupos musculares tienden más a acortarse por su condición biarticular como es el caso de la musculatura isquiosural (Santonja et al., 1995; Vidal et al., 2011).

Una vez analizadas con detalle la evolución y las variaciones de las capacidades determinantes del ROM por separado, así como sus fases sensibles a lo largo de cada una de las categorías competitivas del fútbol formativo, consideramos que una inadecuada distribución de las cargas de entrenamiento y competición que incidan en desarrollo de las mismas, puede generar carencias a nivel condicional y coordinativo que reduzcan el

futuro rendimiento deportivo y aumenten la aparición de lesiones (Bowen et al., 2017; Read et al., 2018).

2.4. Lesiones en el fútbol.

2.4.1. Definición de lesión.

La literatura ofrece numerosas definiciones del término “lesión” que varía según autores y el establecimiento de distintos criterios y clasificaciones. A continuación, se presentan algunas de las definiciones más utilizadas en función de diferentes aspectos.

2.4.1.1. Según la ausencia a entrenamiento y/o competición.

Ekstrand, Hägglund, & Waldén (2011) definen como lesión a todas aquellas situaciones incapacitantes que causan que un jugador no pueda participar de forma completa o normalizada en el entrenamiento o partido de competición. La gravedad de una lesión se clasifica según el número de días de ausencia (tiempo perdido). El personal médico será el responsable de autorizar la reincorporación del deportista en el entrenamiento normalizado y su disponibilidad para poder disputar partidos. Este criterio es el seguido por el comité médico de la UEFA (del inglés “*Union of European Football Associations*”). Esta definición se basa en la elaborada por Hawkins, Hulse, Wilkinson, Hodson, & Gibson (2001) que consideraron una lesión registrable como aquella que es causada durante el entrenamiento o la competición y que impide que la persona lesionada participe en el entrenamiento normal o la competencia durante más de 48 horas, sin incluir el día de la lesión. No obstante, estos autores también resaltan que dichas ausencias

dependen no solo de un componente subjetivo fuerte sino también de otras variables como el calendario de partidos, la posibilidad de seguir uno u otro tratamiento médico, etc.

2.4.1.2. Según la asistencia médica.

Para este criterio, la lesión se define como aquella situación en la que uno o varios jugadores han necesitado de algún tipo de intervención por parte de los servicios médicos del club, independientemente de las consecuencias con respecto a la ausencia del partido o entrenamiento (Fuller et al., 2006; Junge et al., 2004). Esta definición es bastante criticada pues el criterio de atención médica incluiría muchas lesiones e incidentes menores que no son relevantes a nivel operativo dentro de la dinámica normal de entrenamiento y competición. Además, este criterio podría introducir un sesgo entre los equipos en los que la atención médica está disponible fácilmente y en aquellos en los que no, como muchos equipos que no tienen un equipo médico propio.

2.4.1.3. Según la estructura / tejido lesionado.

En esta definición de lesión, la misma se determina mediante una valoración médica objetiva que detecte alguna alteración en la estructura corporal (Dvorak & Junge, 2000). Esta definición sigue un criterio más objetivo que las anteriores. Sin embargo, rara vez se utiliza una definición de lesión tisular realmente objetiva ya que deben incluirse criterios objetivos específicos como, por ejemplo, el examen con imágenes de resonancia magnética (del inglés MRI, “*Magnetic Resonance Imaging*”), ultrasonidos, rayos x, etc., que no siempre están al alcance económico de todos los clubes. Es por este motivo que, según Fuller et al. (2006), la ausencia de un examen clínico objetivo podría provocar

variaciones en la interpretación de los distintos estudios que reporten índices de lesión. Debido por una parte a la subjetividad del juicio de lesión por parte del médico y, por otro lado, por la tolerancia de los individuos al dolor. Por lo tanto, según estos últimos autores una lesión quedaría definida como cualquier queja física que experimenta un jugador resultante de un partido o entrenamiento de fútbol, independientemente de la necesidad de atención médica o pérdida de tiempo de las actividades. A su vez, estos autores diferenciaron entre lesiones que hacen que un jugador reciba atención médica, definidas como lesiones de "atención médica" y lesiones que requieren que el jugador no pueda participar en el futuro entrenamiento o en un partido, definidas como "lesiones con baja temporal".

Una vez aclaradas las diferencias terminológicas de lesión en el ámbito del fútbol, para terminar de contextualizar esta parte, en el siguiente subapartado nos centraremos en analizar brevemente los tipos, distribución y frecuencia de las lesiones más comunes en este deporte.

2.4.2. Epidemiología lesiva en el fútbol.

En las últimas dos décadas numerosos estudios han investigado la epidemiología lesiva en el fútbol. Recientemente, Chahla et al. (2018) en un estudio epidemiológico de las lesiones acaecidas durante la "*Gold Cup*" de 2017, reportaron que la tasa lesional general fue de 1,04 por partido, observándose que las lesiones más comunes fueron las contusiones (42,3%), los esguinces (7,7%), las distensiones (7,7%) y las fracturas (7,7%). Estos autores comprobaron además que la mayoría de estas lesiones fueron producidas por contacto (75,0%), mientras que el 25% restante surgieron de situaciones sin contacto.

Siguiendo con la naturaleza de las lesiones durante la práctica del fútbol, la mayoría de los estudios tanto internacionales (Chahla et al., 2018; Ekstrand et al., 2011, 2013; Hawkins et al., 2001) como nacionales (Mallo et al., 2011; Noya & Sillero, 2012; Noya et al., 2014) coinciden en afirmar que el mayor número de casos son de carácter muscular. En este sentido (Ekstrand et al., 2011) documentaron que las lesiones musculares constituyeron el 31% (un tercio) de todas las lesiones observadas, y fueron la causa del 27% (aproximadamente una cuarta parte) de las ausencias totales por lesiones. Estos datos supondrían que un equipo de 25 jugadores puede sufrir alrededor de 15 lesiones musculares por temporada. Más elevados son los porcentajes de lesiones musculares reportados por los estudios de Noya & Sillero (2012) y Noya et al. (2014). En el estudio del 2012 participaron 27 equipos pertenecientes a la primera y segunda división del fútbol español, con un total de 728 jugadores, contabilizando un total de 2.184 lesiones. De las cuales, como se puede ver en la Tabla 2 el 49,5% fueron del tipo muscular siendo las roturas musculares las que más días de baja causaron. Estos mismos autores dos años más tarde al analizar la incidencia de lesiones en 16 clubes de la primera división española, comprobaron que más de la mitad (53,8%) de todas las lesiones sufridas en un año también fueron de carácter muscular.

Tabla 2. Número de lesiones y días de baja total en función de la tipología lesional. Fuente: Recuperado de Noya & Sillero (2012).

<i>Grupo de Edad</i>	<i>Total</i>		
	<i>n</i>	<i>% del total</i>	<i>Días de baja</i>
<i>Sobrecarga muscular</i>	516	23,8%	2.366
<i>Rotura muscular</i>	353	16,3%	7.215
<i>Ligamentosa</i>	328	15,1%	4.917
<i>Contractura muscular</i>	204	9,4%	1.592
<i>Inflamación / edema</i>	188	8,7%	842
<i>Contusión</i>	140	6,4%	569
<i>Articular</i>	119	5,5%	1.669
<i>Tendinitis</i>	104	4,8%	1.434
<i>Fractura</i>	361	1,7%	1.007
<i>Herida</i>	32	1,5%	152
<i>Pubalgia</i>	32	1,5%	934
<i>Meniscal</i>	29	1,3%	561
<i>Subluxación/dislocación</i>	20	0,9%	287
<i>Otra lesión ósea</i>	18	0,8%	398
<i>Fisura</i>	13	0,6%	266
<i>Fascitis plantar</i>	12	0,6%	166
<i>Bursitis</i>	11	0,5%	70
<i>SNP</i>	9	0,4%	69
<i>Conmoción cerebral</i>	8	0,4%	18
<i>TOTAL</i>	2.172	100%	24.532

Como podemos observar las lesiones musculares son un problema sustancial para los jugadores y sus clubes, constituyendo casi un tercio de todas las lesiones de etimología aguda en el fútbol profesional masculino (Ekstrand et al., 2011). En los siguientes apartados nos vamos a centra en revisar la literatura que ha investigado las lesiones musculares en el deporte, incidiendo especialmente en el fútbol.

2.5. Las lesiones musculares.

Las lesiones musculares ocurren frecuentemente en todos los deportes y en todos los niveles y edades de participación deportiva (Valle et al., 2018). A pesar de su alta incidencia, las estrategias de prevención y programas de rehabilitación aún se debaten en la literatura (Mendiguchia et al., 2012). De hecho, la tasa de nuevas lesiones después de una lesión muscular previa es muy alta (Fernandes et al., 2015; Maffulli et al., 2014; van Beijsterveldt et al., 2013), tal vez debido a la presión de devolver a nuestros deportistas al deporte lo antes posible, debido a un tratamiento de rehabilitación inadecuado o quizás también debido a nuestra comprensión limitada de los factores de riesgo modificables (de Visser et al., 2012; Freckleton & Pizzari, 2013).

Previo a describir todo lo relativo a las lesiones musculares, se requiere una comprensión básica de la anatomía microscópica y macroscópica muscular.

2.5.1. Anatomía y fisiología muscular.

El tejido muscular esquelético en su conjunto tiene la mayor masa en el cuerpo humano, representando el 45% del peso total (Fernandes et al., 2015). En términos generales está compuesto por una estructura contráctil y un soporte de tejido conectivo de tres capas que lo rodea (ver Figura 12) y que se explican a continuación.

2.5.1.1. Composición y propiedades mecánicas.

A la estructura contráctil más pequeña se le conoce como fibra muscular, en cuyo interior se encuentran los sarcómeros (responsables de la contracción y elongación de los músculos) y está rodeada por una delicada red de tejido conectivo llamada endomisio. A su vez las fibras musculares se agrupan en fascículos que se rodean de un tejido conectivo más grueso, el perimisio. Y, varios fascículos se agrupan para formar un músculo, rodeado también por una tercera capa externa de tejido conectivo, el epimisio (Ostrovidov et al., 2014).

Las fibras musculares se insertan en cada extremo a través de una conexión tendón-hueso (tejido conjuntivo). Formando lo que se conoce como la unidad musculo tendinosa (UMT) o TMJ (del inglés, *tendon-muscle junction*).

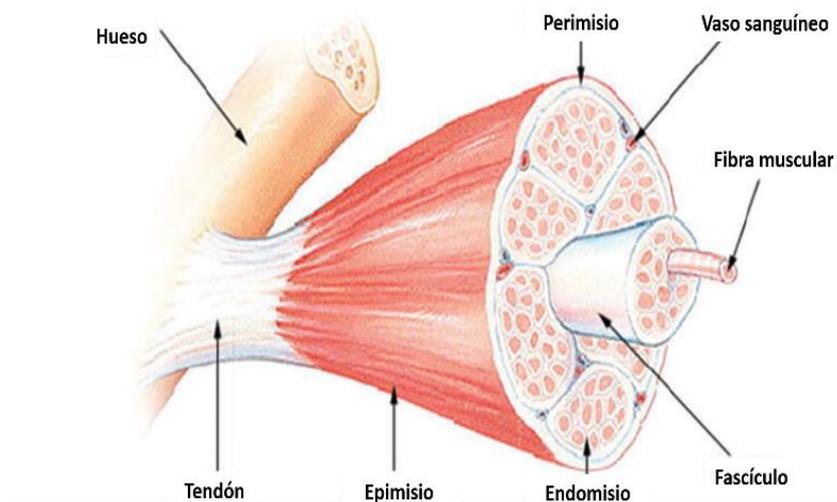


Figura 12. Anatomía microscópica de la estructura del músculo esquelético. Fuente: Modificado de Ostrovidov et al. (2014).

Así pues, el complejo musculotendinoso, como se muestra en la Figura 13 está constituido por tres componentes o elementos mecánicos independientes que presentan una respuesta mecánica muscular que se oponen a las fuerzas deformantes y tienen un papel fundamental en la extensibilidad de dicho complejo y por lo tanto una gran influencia en el rango de movimiento articular (Radák, 2018). Por este motivo, creemos necesaria su atención en la presente tesis.

Estos elementos son un elemento contráctil (EC), un elemento elástico en serie (EES) y un elemento elástico en paralelo (EEP) (Radák, 2018). El elemento contráctil (responsable activo de generar tensión) proviene de la fuerza generada por los puentes cruzados de las miofibrillas formadas por los filamentos de actina, miosina y titina (Herzog et al., 2015). El elemento elástico en paralelo representa la tensión de los elementos pasivos de los tejidos conjuntivos ricos en colágeno, como las fascias, vainas, las membranas (epimisio, perimisio, endomisio) y distintas proteínas como la titina y nebulina. El elemento elástico en serie representa los tendones, los cuales están orientados en la línea de las fuerzas de tracción (Herzog et al., 2015; Lieber et al., 2017). Presentan extensibilidad (no tanta como los músculos), la cual va a depender de la cantidad de tensión, la cual a su vez va a depender de la intensidad de contracción del músculo y del tamaño y longitud del tendón (aponeurosis) en relación con el tamaño del músculo (aumenta con su grosor y disminuye con su longitud) (Roberts & Konow, 2013). Así pues, el grosor y longitud del tendón contribuirá a revelar la función del músculo, de tal modo que un tendón más largo infiere un mayor almacenamiento y liberación de energía (Roberts & Konow, 2013).

Así pues, el rendimiento en un deporte como el fútbol (actividades de alta velocidad y fuerza) va a depender en gran medida del elemento elástico en serie y del tejido no contráctil dentro del músculo (elemento elástico en paralelo) ya que va a permitir

amplificar, absorber y amortiguar (del inglés, “*capacity of buffer*”) la fuerza según la situación. Del mismo modo, un tejido elástico deficiente aumentará la carga para el sistema y puede aumentar el riesgo de lesiones musculares sobre todo en edades de desarrollo (Roberts & Konow, 2013).

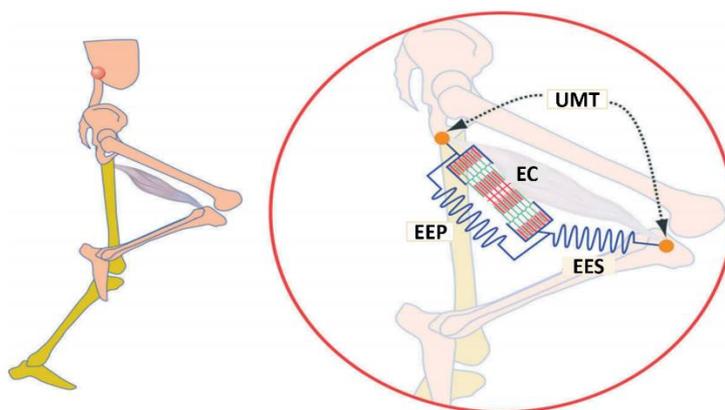


Figura 13. En la izquierda: Unidad músculo tendón. En la derecha: Modelo de contracción muscular de tres elementos de Hill. Fuente: Modificado de Van Hooren & Bosch (2017).

Así pues, estos elementos van a permitir dotar al complejo músculo-tendinoso de la capacidad de generar tensión. La cual se puede dividir en tensión muscular activa y tensión muscular pasiva. Siendo la tensión activa la capacidad de un músculo (concretamente del número de enlaces entre los elementos contráctiles de sus sarcómeros) que tiene de desarrollar tensión al acortarse y de generar tensión al estirarse en respuesta de una carga externa. Y la tensión pasiva es la tensión desarrollada cuando un músculo sobrepasa su longitud de reposo y la parte no contráctil (tejido conjuntivo) del vientre muscular se elonga (Carrere, 2010; Marshall et al., 2016), es decir, es la oposición de los tejidos a la deformación sin prácticamente solapamiento de los puentes cruzados de miosina sobre actina (Carrere, 2010).

A parte de su composición y de sus propiedades mecánicas, el comportamiento de la UMT va a depender también en gran medida de su estructura.

2.5.1.2. Estructura muscular.

El músculo esquelético estructuralmente presenta grandes variaciones en cuanto a su arquitectura, masa, volumen, orientación, distribución y composición de sus fibras. Esta variación nos va a informar de las características funcionales de un determinado musculo así como de sus propiedades contráctiles, muy a tener en cuenta a la hora de tomar decisiones en un trabajo preventivo o de rehabilitación (Ward et al., 2009).

2.5.1.3. Arquitectura muscular.

La arquitectura muscular (definida como la disposición de las fibras en un músculo en relación con el eje de producción de fuerza) junto a otros parámetros físicos y metabólicos es un muy buen indicador de la función muscular y de su capacidad de rendimiento (Ward et al., 2009). Así pues, en primer lugar hay que tener claro que la longitud de la fibra muscular y el área de sección transversal fisiológica (ASTF o PCSA, del inglés, “*physiological cross-sectional area*”) y anatómica (ASTA o ACSA, del inglés “*anatomical cross-sectional areas*”)⁶ van a definir y determinar la excursión muscular y las capacidades de generación de fuerza/tensión (cantidad de contracción posible) de un músculo (Fernandes et al., 2015; Ward et al., 2009). En este sentido, en términos

⁶ La ASTF se define como el área de la sección transversal que es perpendicular a la dirección de las fibras musculares, mientras que la ASTA corresponde al área de sección transversal perpendicular a la línea de acción del músculo (Carlson, 2019). Por lo tanto, si dos músculos tuvieran un misma ASTA, un músculo pennado sería más fuerte que uno con fibras paralelas debido a su ASTF más grande.

generales, en función de la inclinación de las fibras musculares respecto al eje de producción/acción de fuerza, como se muestra en la Figura 14 y 15, podemos distinguir entre dos grandes tipos/formas de músculos: fusiformes o longitudinales y peniformes (oblicuos) (Feher, 2017). En cuanto a los primeros, las fibras musculares tienen una disposición/organización en paralelo a la línea de tracción, estando diseñados para permitir grandes rangos de movimiento (Fernandes et al., 2015). Este diseño también les permite desarrollar una tensión activa superior y producir un alto grado de acortamiento y a gran velocidad, sin embargo, la fuerza es escasa (Ward et al., 2009). Por el contrario, como podemos ver en la Figura 14, un músculo penado, está caracterizado por fibras musculares dispuestas en ángulo/oblicuo con respecto al eje de acción de fuerza o al eje del tendón central (mayor ASTF), en el caso de los bipeniformes (Ward et al., 2009). Al haber mayor superficie de inserción ofrece la posibilidad de un mayor empaquetamiento de fibras contráctiles dentro del mismo espacio produciendo una mayor “*stiffness*” de las extremidades y por lo tanto biomecánicamente tiene la capacidad de generar una tensión pasiva más elevada (más fuerza contráctil debido a como hemos dicho una mayor ASTF) dentro de un menor rango de movimiento (Fernandes et al., 2015; Ward et al., 2009) siendo por lo tanto más resistentes a las roturas y cumpliendo un papel más importante en la estabilización de la articulación.

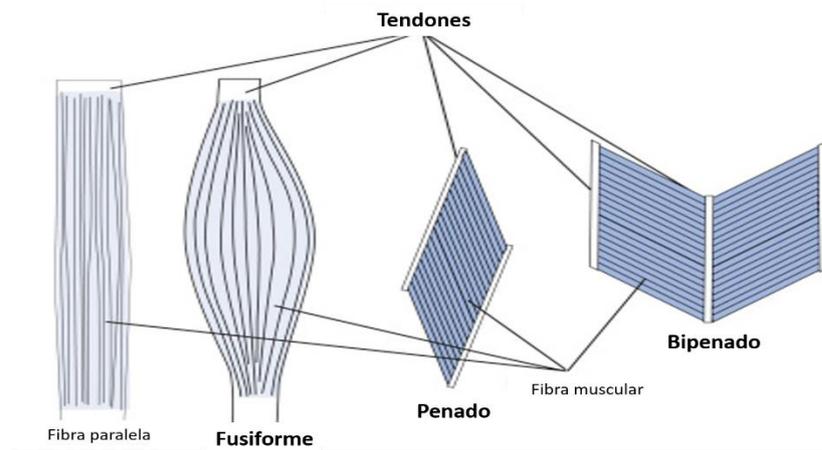


Figura 14. Diferentes arquitecturas musculares según la disposición de las fibras musculares. Fuente: Modificado de Feher (2017).

Así pues, los músculos de morfología peniforme o bipeniforme ricos en colágeno, según sus características arquitectónicas se consideran de **acción corta**, pues presentan poca capacidad de estiramiento y su acortamiento es limitado, aunque como hemos dicho, debido a su alta concentración de colágeno suelen ser muy resistentes. Por el contrario, los musculo de **acción larga**, normalmente de tipología fusiforme, pueden ser estirados con cierta facilidad gracias a su capacidad de elongación musculo-tendinosa, ayudando a conseguir grandes amplitudes de movimiento (Moras, 2007).

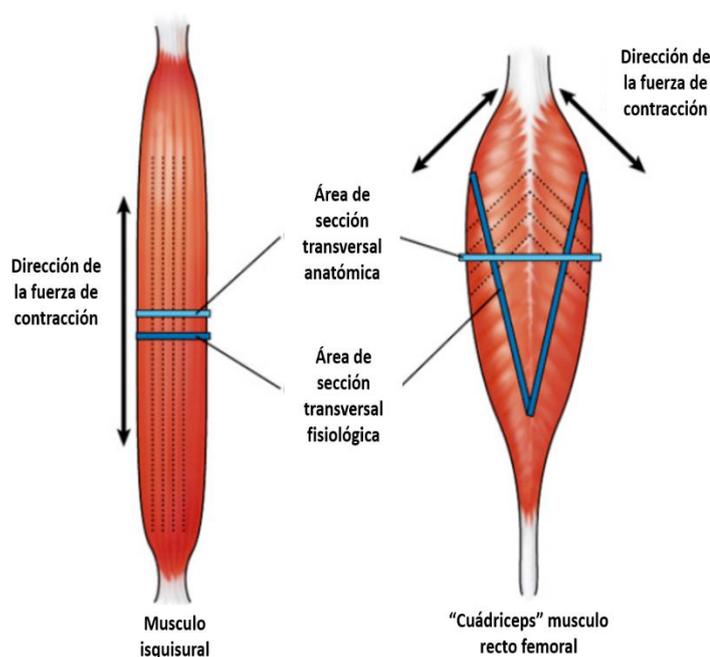


Figura 15. Arquitectura funcional de los músculos flexores (isquiosurales) versus extensores (cuádriceps). Los primeros con fibras poco inclinadas son de velocidad y los segundos con las fibras inclinadas son músculos de fuerza. Fuente: Modificado de Carlson (2019).

Curiosamente, los isquiosurales (sobre todo el semitendinoso y la cabeza corta del bíceps femoral), a pesar de sus características arquitectónicas (morfología larga con fibras poco inclinadas) y funcionales (alta velocidad de contracción) (Ward et al., 2009) y aunque mecánicamente no estén diseñados para generar una gran fuerza contráctil a diferencia del cuádriceps o el glúteo (músculos con altos grados de penación) (Fernandes et al., 2015; Woodley & Mercer, 2005), deben considerarse de acción corta por su gran cantidad de tejido fibroso no contráctil y su poca capacidad de extensibilidad (Battermann et al., 2011), seguramente por su intervención biarticular (Kapandji, 2010) y su composición fibrosa (semitendinoso gran parte es tendón y el semimembranoso gran parte es membrana). Por ello, autores como Vaquero-Cristóbal et al. (2012) consideran la importancia de implementar programas específicos de estiramientos de la musculatura isquiosural para producir mejoras en la extensibilidad de esta musculatura.

Por otro lado, en el sistema musculoesquelético, hay músculos que atraviesan una o más articulaciones para generar movimiento, así pues según el número de articulaciones en las que intervienen, los músculos se pueden dividir en monoarticulares y biarticulares (Fernandes et al., 2015). Se dice que los músculos monoarticulares realizan un trabajo sobre una sola articulación, alargándose o acortarse de manera limitada con la flexión y extensión de la articulación que cruzan, con una baja velocidad de contracción y una capacidad para generar y mantener una gran fuerza contráctil (músculos de acción corta), tienen principalmente una función tónica o postural, son generalmente anchos (mayor área de sección transversal tanto anatómica como fisiológica), planos y no suelen percibirse como rígidos (Fernandes et al., 2015; Ward et al., 2009). Mientras que se dice que los músculos biarticulares, tienen una mayor capacidad para cambiar la longitud, mayor velocidad de contracción, pero mayor dificultad para resistir la tensión ya que transfieren energía mientras resisten momentos de tensión a través de dos articulaciones, lo cual dan una mayor sensación de rigidez (Lee & Oh, 2019; Ward et al., 2009). Por lo tanto, debido a su funcionalidad, los músculos biarticulares son los que ofrecen una mayor resistencia a los estiramientos y una mayor sensación de rigidez (Lee & Oh, 2019). En este sentido, la mayoría de los músculos humanos que se ven sometidos a generar una gran cantidad de fuerza (debido a la menor capacidad para resistir la tensión) suelen ser músculos biarticulares (Lee & Oh, 2019), siendo más susceptibles a sufrir distensiones o desgarros de la unión musculo-tendinosa tras un estiramiento excesivo de las fibras musculares debido a una alta fuerza de tracción ejercida sobre el musculo (Fernandes et al., 2015; Noonan & Garrett, 1999). Por ejemplo, como se muestra en la Figura 16 y 17, en el caso del muslo, en la parte posterior existen como músculos biarticulares los isquiosurales (semimembranoso, semitendinoso y porción larga del bíceps femoral)

actuando como flexores de rodilla y extensores de cadera, y en la parte anterior el recto anterior, actuando como flexor de cadera y extensor de rodilla. No obstante, es importante señalar que Ward et al. (2009) en un estudio en el que diseccionaron las fibras musculares de cinco grupos musculares de la extremidad inferior, observaron que los músculos biarticulares aunque puede que tengan una mayor longitud no tienen necesariamente fibras más largas que los músculos monoarticulares, como se pudo observar en la similitud de las longitudes de las fibras entre los diferentes músculos flexores y extensores de la rodilla. De ahí la importancia de la longitud de la fibra como un factor determinante de la cantidad de contracción posible en un músculo.

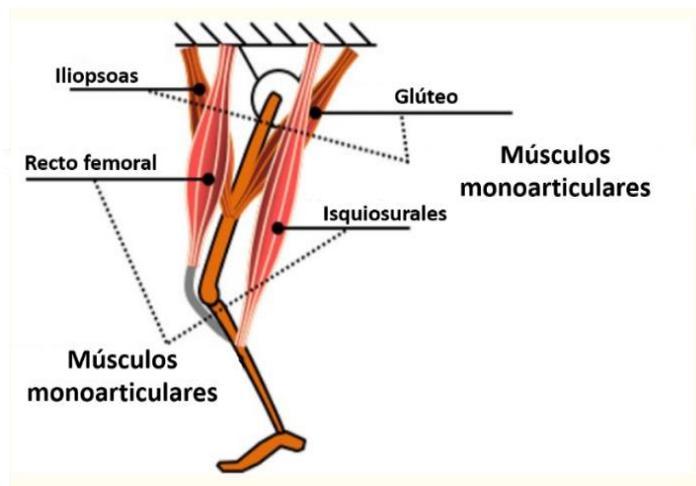


Figura 16. Músculos biarticulares representativos en la extremidad inferior. Fuente: Modificado de Lee & Oh (2019).

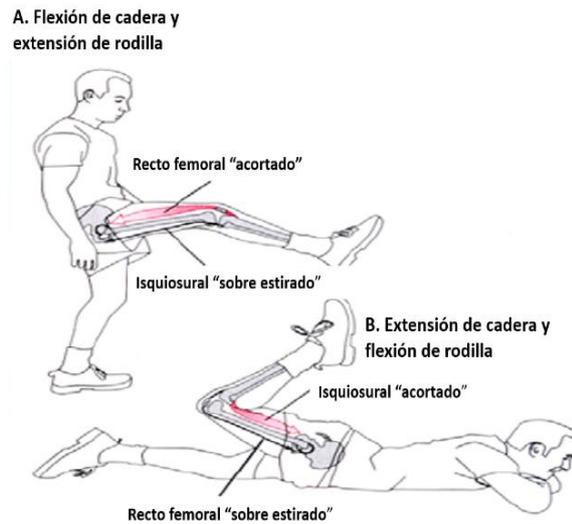


Figura 17. Músculos biarticulares de las extremidades inferiores. En la imagen A el recto femoral actúa como flexor de cadera y extensor de rodilla y en la imagen B los isquiosurales actúan como extensores de cadera y flexores de rodilla. Fuente: Modificado de Moras (2007).

Debido a esta doble funcionalidad, de los músculos biarticulares, es importante conocer el concepto de condición de insuficiencia pasiva y activa. La condición de insuficiencia pasiva se da cuando un músculo biarticular se alarga en una articulación mientras produce movimiento o fuerza en la otra articulación siendo incapaz de aprovechar todo el rango de movimiento sobre las dos articulaciones simultáneamente (Gajdosik et al., 1994; Schoenfeld, 2002). En el miembro inferior, como se muestra en la Figura 17, podemos encontrar esta condición de insuficiencia pasiva en la posición de tendido supino al realizar una flexión de cadera, ya que para conseguir la flexión total de cadera es necesario flexionar la rodilla. Y del mismo modo la extensión total de rodilla ira en detrimento de la amplitud de flexión de cadera (Moras, 2007).

La condición de insuficiencia activa es la situación inversa. Se refiere a la condición en la que un músculo biarticular se acorta en una articulación mientras se produce una contracción muscular iniciada en la otra articulación (Schoenfeld, 2002), es

decir, se da cuando un músculo biarticular es incapaz de acortarse sobre ambas articulaciones simultáneamente en todo su recorrido. Debido a la débil fuerza contráctil de un músculo cuando sus uniones están muy juntas, ya que el músculo está en su punto más bajo en la curva longitud-tensión y, por lo tanto, su capacidad para producir fuerza disminuye (Schoenfeld, 2002). Por ejemplo, como vemos en la Figura 18, podemos encontrar esta condición de insuficiencia activa cuando desde bipedestación la rodilla se flexiona cuando la cadera se extiende (Moras, 2007), en este caso los isquiosurales (extensor de la cadera y flexor de la rodilla) se acortan y se debilitan (no pueden generar tensión) imposibilitando que la rodilla se flexione completamente (su acción activa en la rodilla estará condicionada por la posición de la cadera).



Figura 18. Insuficiencia activa y pasiva en las extremidades inferiores. Fuente: Recuperado de Moras (2007).

2.5.1.4. Tipo de fibra muscular.

El músculo está compuesto por una mezcla de fibras de contracción lenta (tipo 1) y rápida (tipo 2), que difieren en tamaño, demanda de energía y potencial de fuerza (Schiaffino & Reggiani, 2011). En este sentido las fibras de contracción lenta tienen un tamaño inferior, mayor número de mitocondrias y mayor capilarización (dependientes del metabolismo aeróbico). Siendo más adecuadas para contracciones repetitivas gracias a la mayor resistencia a la fatiga debido a sus propiedades enzimáticas oxidativas (Schiaffino & Reggiani, 2011). En cambio, las fibras rápidas presentan un mayor tamaño y con menos vasos sanguíneos, siendo más adecuadas para desarrollar fuerzas a alta velocidad (dependientes del metabolismo anaeróbico), es decir, mejor adaptadas para realizar actividades de mayor tensión/contracción muscular y de corta duración, ya que se fatiga más rápidamente que las fibras tipo I. Por otra parte, las fibras musculares tipo II también son más propensas a sufrir lesiones, ya que desempeñan un papel más importante durante las actividades de alta velocidad y potencia, por lo tanto, las lesiones musculares son más frecuentes en músculos con alto porcentaje de fibras tipo II, como es el caso de los musculo biarticulares (Noonan & Garrett, 1999) citado en Delos et al. (2013).

Por otra parte, para poder entender mejor como responde el complejo musculotendón (como la fuerza interna se transmite) ante una fuerza externa es importante comprender primero los diferentes tipos de acción/contracción muscular, los cuales van a depender de la intensidad de dicha carga externa.

2.5.1.5. Tipos de acción muscular.

Como ya se saben, existen tres tipos de contracción muscular: concéntrica, isométrica y excéntrica. Las cuales difieren fundamentalmente entre sí desde un punto de vista de control mecánico, metabólico (Franchi et al., 2017) y neural (Duchateau & Enoka, 2016; Enoka, 1996).

- a) La contracción concéntrica (conocida como contracción muscular) ocurre cuando la longitud total del músculo se acorta a medida que se produce tensión por el elemento contráctil y, en menor medida, por el elemento paralelo (Reed & Bowen, 2008). Debido a que la fuerza generada por el músculo es menor que la carga externa, produciéndose así el acortamiento muscular (Radák, 2018). Durante esta contracción se requiere mayor coste metabólico en comparación con los otros dos tipos (Franchi et al., 2017; Lindstedt et al., 2001).
- b) La contracción isométrica ocurre cuando la longitud muscular permanece relativamente constante a medida que se genera tensión (la fuerza interna es igual a la carga externa) (Reed & Bowen, 2008). Sin embargo, este tipo de contracción también requiere grandes cantidades de energía debido a la cantidad de tensión generada por la contribución total del elemento paralelo del músculo (Radák, 2018).
- c) La contracción excéntrica (la cual consideramos más relevante en la presente tesis debido a que presentan varias características únicas en comparación con otros tipos de contracciones) ocurre cuando la longitud del complejo músculo-tendón aumenta a medida que se produce tensión (Enoka, 1996; Reed &

Bowen, 2008). Es decir, los sarcómeros junto a los elementos elásticos son capaces de aumentar su longitud al mismo tiempo que generan fuerza debido a que la carga externa sobre el músculo es mayor que la fuerza que puede generar. Durante este tipo de contracción varios son los estudios que han afirmado que los músculos son capaces de desarrollar mayores picos de fuerza y potencia que en condiciones isométricas o concéntricas (Franchi et al., 2017; Hody et al., 2019; Illera-Domínguez et al., 2018). Sin embargo, resulta curioso que el coste energético es inferior (menores requerimientos de oxígeno), quizás debido a que los puentes cruzados son desactivados forzosamente por el estiramiento (Lindstedt et al., 2001). Este tipo de acciones musculares, a diferencia de la contracción concéntrica e isométrica, conlleva una menor activación muscular (Hody et al., 2019). En este sentido, como se puede ver en la Figura 19, ya hace varias décadas, diferentes estudios mediante electromiografía (EMG) observaron que la activación de determinados grupos musculares es entre un 35% y un 60% menor durante una contracción excéntrica que durante una contracción concéntrica equivalente al mismo grado de fuerza generada (Adams et al., 1992; McHugh et al., 2001; Potvin, 1997; Tesch et al., 1990). Resultados en la misma línea fueron reportados por Duchateau & Enoka (2016) en una actual revisión sobre las estrategias de activación muscular, en la cual observaron que la tasa de descarga es sistemáticamente menor durante las acciones de alargamiento en comparación con las contracciones de acortamiento.

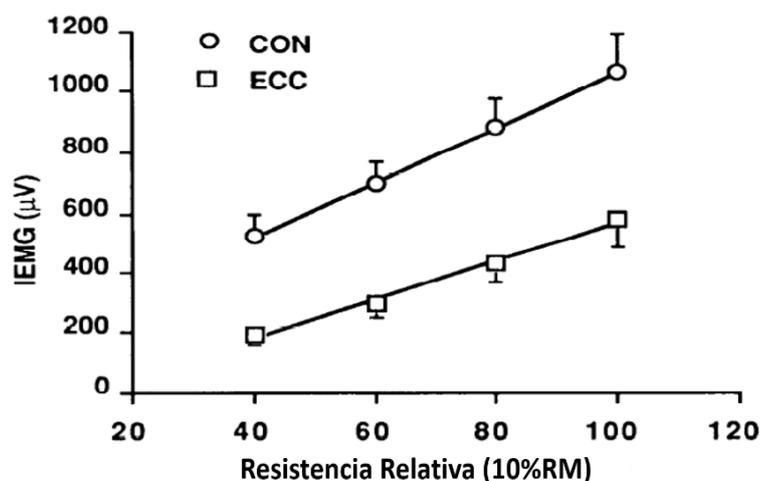


Figura 19. La actividad IEMG del músculo bíceps braquial fue notablemente menor para las acciones excéntricas que para las concéntricas a cualquier intensidad de ejercicio. Fuente: Modificado de Adams et al. (1992).

Así pues, el hecho de un menor gasto energético y un menor reclutamiento de unidades motoras (UM) inducen a una menor fatiga muscular, lo que contribuye a prolongar en el tiempo la actividad. Este menor reclutamiento de UM según Duchateau & Enoka (2016) puede ser debido a una reducción de la excitabilidad espinal y corticoespinal durante el alargamiento, produciendo por los mecanismos responsables de la modulación de la excitabilidad cortical y espinal a nivel medular ante una excesiva tensión. Esto provoca que las grandes fuerzas de tracción que se dan durante las contracciones excéntricas se repartan en un menor número determinado de fibras, las cuales se ven sometidas a una mayor tensión causando un mayor daño muscular y un dolor de aparición tardía (DOMS, del inglés “*Delayed-Onset Muscular Soreness*”) (Hody et al., 2019).

Por otra parte, otra peculiaridad de las contracciones excéntricas es el modo en el que el SNC regula su funcionamiento en comparación a las concéntricas e isométricas, concretamente en el patrón de reclutamiento de las unidades motoras del músculo

(Howell et al., (1995). Estos autores observaron que durante las contracciones excéntricas las UM de fibras rápidas (Tipo II) eran reclutadas selectivamente antes y en mayor proporción respecto a los otros tipos de acciones musculares, observando un mayor número de fibras rápidas destruidas, debido a que fueron las más trabajadas durante este tipo de acciones.

Una vez realizada esta contextualización anatómica, fisiológica y estructural podemos comprender mucho mejor cuales son los puntos de debilidad biomecánica donde se producen mayores momentos de tensión y por lo tanto entender mejor que musculaturas (donde, como y en qué momento) son más susceptible a lesionarse.

2.5.2. Definición de lesión muscular.

A pesar de que en próximos subapartados se definirán con detalle los tipos de lesiones musculares según niveles y gravedad, la definición de lesión muscular aún no se ha definido claramente y sigue existiendo un alto grado de variabilidad entre los términos utilizados para describirlas. Independiente de sus niveles, como en el siguiente subapartado veremos, la distensión o desgarro muscular (del inglés “*muscle strain / tear*”), se considera la lesión muscular más frecuente y se define como una lesión aguda consistente en la elongación excesiva de las fibras musculares y tendones, debido a la capacidad limitada para tolerar las fuerzas generadas durante la contracción excéntrica más allá de sus límites, generando una alteración en la estructura normal del músculo, tanto en el componente contráctil, como en los componentes conectivos o la unión músculo tendinosa del mismo, conduciendo a la pérdida de continuidad y propiedades contráctiles y/o elásticas. (Flores et al., 2018; Mueller-Wohlfahrt et al., 2013).

Según Ekstrand et al. (2013) una lesión muscular del muslo se define como una alteración traumática o una lesión por uso excesivo de los grupos musculares anteriores o posteriores del muslo que conducen a que un jugador no pueda participar por completo en el entrenamiento o el partido.

2.5.3. Clasificación (tipos y definiciones) de las lesiones musculares.

Las lesiones musculares generalmente se dividen en dos grandes grupos según su mecanismo lesional (Maffulli et al., 2014; Ueblacker et al., 2015):

- A) *Intrínsecas o indirectas*: Corresponde a lesiones que se dan cuando no actúa una fuerza externa. Estas lesiones, como más adelante veremos se clasifican como no estructurales (las fibras musculares no presentan una lesión anatómicamente evidente) y estructurales (lesión anatómicamente definida) (Mueller-Wohlfahrt et al., 2013). Yendo desde la lesión fibrilar microscópica mínima, en que no se identifica un defecto macroscópico, hasta la rotura completa de un vientre muscular o avulsiones tendinosas (Mueller-Wohlfahrt et al., 2013; Pollock et al., 2014). Y suelen ocurrir en la fase excéntrica de la contracción muscular ante una elongación brusco y excesiva. Siendo las que mayor incidencia tienen y que más días de baja causan tanto en la parte anterior como posterior del muslo (Ueblacker et al., 2015).
- B) *Extrínsecas o directas (contusiones y laceraciones)*: Las lesiones musculares directas se encuentran en menos del 15% de lesiones y se dan a causa de una fuerza externa tras un trauma directo (contusión) contra el musculo, lo que provoca que las estructuras externas e internas (estructuras óseas) se aprietan entre si (Ueblacker et al., 2015). La gravedad varía según la intensidad de la

fuerza de contacto y la situación de contracción del músculo en el momento del traumatismo, siendo leves moderadas y graves según la discapacidad funcional que producen (Maffulli et al., 2014). En menor porcentaje, la laceración surge de un impacto contra una superficie afilada (Maffulli et al., 2014).

A través de los años se han descrito diferentes sistemas de clasificación de las lesiones musculares. Muchos estudios tradicionalmente han dividido las lesiones según el grado de severidad, diferenciando en 3 grados, siendo las de **grado 1** o leves (4-7 días) cuyos signos y síntomas son edema e incomodidad sin daño estructural, las de **grado 2** las moderadas (8-28 días) causan un mayor daño muscular con pérdida de función, posible brechas musculares palpables y posible equimosis y las de **grado 3** las más graves (más de 28 días) considerando un daño 100% estructural con ruptura completa, dolor severo y hematoma extenso que dan como resultado una pérdida prácticamente completa de la función muscular (Brandser et al., 1995; Fernandes et al., 2015). No obstante, debido a una falta de subclasificaciones dentro de los grados o tipos de lesiones, se han encontrado ciertas limitaciones en los sistemas de calificación anteriores a la hora de reflejar con precisión y de manera confiable la anatomía, el pronóstico, la vía de tratamiento y el tiempo de regreso al deporte. Años posteriores, otros estudios (Chan et al., 2012; Maffulli et al., 2014) elaboraron un sistema de clasificación alternativo, clasificando las lesiones musculares por sitio de lesión, en proximales, medias y distales. Y anatómicamente, en función de las diversas estructuras musculares involucradas, distinguiendo lesiones intramusculares, miofasciales, perifasciales y musculo-tendinosas.

Sin embargo, a la hora de clasificar las lesiones musculares, uno de los sistemas más empleados y que consideramos más completos es el *Sistema de clasificación de lesiones musculares de Múnich* (Mueller-Wohlfahrt et al., 2013). Este sistema, aunque también con algunas limitaciones a la hora de realizar un enfoque clínicamente relevante

(Pollock et al., 2014), proporciona por una parte una terminología y una clasificación clara de las lesiones musculares y, por otra, resulta ser una herramienta de gran valor predictivo a la hora de que el jugador vuelva a jugar o comúnmente denominado RTP (del inglés “*return to play*”) después de una lesión muscular en el muslo (Ekstrand et al., 2013).

Según esta clasificación integral, las lesiones musculares agudas se dividen en: **a)** Lesiones musculares directas (contusiones y laceraciones) y **b)** Lesiones musculares indirectas. Y esta últimas a su vez en funcionales y en estructurales:

- Las lesiones funcionales (no estructurales) suponen alteraciones indirectas agudas dolorosas debidas a la fatiga o problemas neurológicos causantes de algún tipo de disfunción neuromuscular, pero sin evidencia macroscópica (en resonancia magnética o ultrasonido) de daño en la fibra muscular (Ekstrand et al., 2013). Se consideran las más comunes y representan el 70% de todas las lesiones musculares en jugadores de fútbol (Corazza et al., 2014).
- Las lesiones estructurales son lesiones musculares indirectas agudas con evidencia macroscópica de rotura de la fibra muscular y/o de UMT. Y se asocian con tiempos de recuperación más largos en comparación con las lesiones musculares de tipo funcional (Ekstrand et al., 2013).

A su vez dentro de esta clasificación, atendiendo de nuevo al *Sistema de clasificación de lesiones musculares de Múnich*, se presentan subclasificaciones para cada tipo (ver Figura 20). Dentro de los trastornos musculares funcionales se diferencian las de **tipo 1**, como son: **1a)** Trastornos musculares inducidos por la fatiga relacionados con el esfuerzo excesivo de la actividad, **1b)** Dolor muscular de aparición tardía (DOMS)

tras movimientos de desaceleración excéntricos y desacostumbrados. Las de **tipo 2**, que se consideran aquel tipo de trastorno neuromuscular sin evidencia macroscópica como son: **2a)** Trastorno muscular/neuromuscular relacionado con la columna vertebral y **2b)** Trastorno muscular/neuromuscular relacionado con el músculo. Dentro de las lesiones musculares estructurales (con evidencia macroscópica) se diferencian las de **tipo 3**, como son: **3a)** Las cuales hacen referencia a desgarros musculares parciales menores (diámetro máximo menor que el fascículo / haz muscular), **3b)** Desgarros musculares parciales moderados (desgarro con un diámetro mayor que un fascículo / haz) y las de **tipo 4**, desgarro total de las fibras musculares, avulsión de la unión del tendón muscular (proximal o distal), avulsiones tendinosas fuera de la tuberosidad isquiática o del tendón distal, incluso fracturas por avulsión óseas de la tuberosidad isquiática o de la inserción distal, es decir, daño graves a nivel estructural.

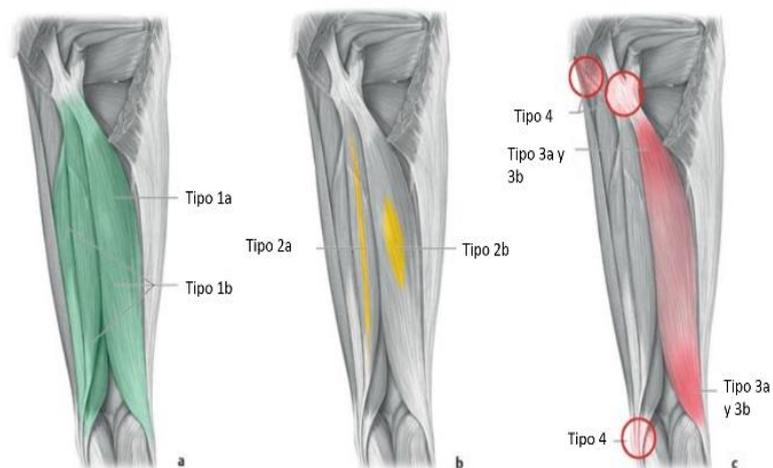


Figura 20. Ilustración anatómica de la ubicación y extensión de las lesiones musculares funcionales y estructurales. (A) Trastornos musculares relacionados con el sobreefuerzo, (B) Trastornos musculares neuromusculares, (C) Desgarros musculares parciales y (sub) totales. Fuente: Modificado de Mueller-Wohlfahrt et al. (2013).

Por último, junto a la clasificación anterior, la de Pollock et al. (2014) sobre lesiones indirectas también es altamente empleada por los servicios médicos de los clubes deportivos, la cual divide las lesiones en cinco grados de lesión muscular categorizados de grado 0 a grado 4. Y, a su vez las de grados 1-4, según el sitio y la extensión de la lesión se subdividen en uno de los tres grupos de diagnóstico: **a)** Lesión miofascial en el aspecto periférico del músculo, **b)** Lesiones situadas más internamente a nivel muscular o en la unión del tendón muscular o **c)** lesión que se extiende hasta el tendón (Inter tendinosas). Así pues, las de **grado 0**, hacen referencia a una lesión neuromuscular focal o dolor muscular generalizado tras el ejercicio (DOMS) con posible sospecha clínica de un componente neural. Las de **grado 1** son lesiones pequeñas (desgarros) en el músculo a nivel fascial (a), o dentro del músculo o en la UMT (b) con longitudes de 1 a 5 cm. Ante la cual el atleta generalmente presentará algo de dolor durante o después de la actividad, pero si pérdida de ROM ni fuerza. Las de **grado 2** son lesiones moderadas (desgarros) que pueden ir desde la fascia periférica hacia el músculo (a), dentro del músculo o en la UMT (b), o que se extienden hacia el tendón (c) con longitudes de 5 a 15cm. El atleta presentará dolor durante la actividad que los obliga a detener la actividad (dolor al inicio de la contracción y debilidad). Las de **grado 3** son desgarros extensos en el músculo a nivel miofascial (a), muscular/musculo-tendinoso (b), o a nivel intra tendinoso (c) con longitudes mayores de 15 cm. Tras la cual el atleta presentará un fuerte dolor repentino que provocan una reducción significativa del ROM y dolor al caminar. Las de **grado 4** son roturas completas del músculo o del tendón (c), tras la cual el atleta experimentará un dolor repentino y una limitación significativa e inmediata.

2.5.4. Factores de riesgo en las lesiones musculares.

Los factores de riesgo de lesiones musculares según la literatura se pueden dividir en dos categorías principales en función de la localización de la causa de la lesión: los factores internos o intrínsecos al deportista y los factores externos o extrínsecos al deportista (Hägglund et al., 2013; Martínez, 2008; Orchard, 2001; Ribeiro-Alvares et al., 2020).

Los factores intrínsecos o internos al deportista hacen referencia a características biológicas o psicológicas inherentes al deportista (Fousekis et al., 2011). Algunos de estos factores incluyen una pobre flexibilidad (Bradley & Portas, 2007; Henderson et al., 2010), déficits en el control neuromuscular (Cameron et al., 2003; Schuermans et al., 2017), déficits de fuerza muscular (Lehance et al., 2008), desbalances de fuerza muscular (entre agonistas y antagonistas) (Croisier et al., 2008; Mersmann et al., 2017; van Dyk et al., 2016), lesiones previas (historial pasado de la misma lesión o historial de un tipo de distensión muscular) (Engebretsen et al., 2010; Orchard, 2001), una rehabilitación inadecuada y una vuelta prematura a la competición (van der Horst, 2018), fatiga muscular (Mair et al., 2016; Small et al., 2009), la edad avanzada (Henderson et al., 2010) etc.

Los factores extrínsecos se consideran externos al deportista y no necesitan de su intervención. Estos factores relacionados con el deporte incluyen el volumen de entrenamiento y competición (la congestión de partidos) (Bengtsson et al., 2018), factores climáticos, el tipo de superficie (césped natural, césped artificial...) (Williams et al., 2016), las condiciones del terreno de juego (mojado, seco...) y el equipamiento (sistemas de protección, calzado con tacos) (O’Kane et al., 2016).

A su vez, otros autores distinguen los factores internos causantes de la lesión en modificables y no modificables (Liu et al., 2012; van Beijsterveldt et al., 2013), ya que muchos si se trabajan se pueden mejorar. Esta división es algo irrelevante para los factores extrínsecos, ya que o bien son prácticamente imposibles de afrontar (por ejemplo, la superficie de juego o una determinada climatología), o bien son sencillos de controlar. Así pues, algunos ejemplos citados anteriormente de factores de riesgo de lesiones musculares inherentes al deportista modificables son: La falta de flexibilidad/ROM, desequilibrio en las proporciones de fuerza, déficits de fuerza concéntrica, isométrica y/o excéntrica, alteraciones en el control motor y déficits propioceptivos. En cuanto a los factores de riesgo intrínsecos y no modificables podemos destacar: La edad, la raza (deportistas de ascendencia africana) (Woods et al., 2004), lesiones previas, el género (Mufty et al., 2015) y la predisposición genética (Baumert et al., 2016).

Debido a que todos estos factores son más o menos relevantes según la musculatura implicada, en el subapartado 2.4.5.7 desarrollaremos con detalle los factores de riesgo más importantes en la lesión de la musculatura isquiosural.

2.5.5. Localización más frecuente de las lesiones musculares.

Dentro de las lesiones musculares (ver Tabla 3), el subtipo que se da con mayor frecuencia en el fútbol y que más días de baja causan son las lesiones estructurales como la rotura y la distensión muscular, concretamente la mayoría localizadas en los muslos (Ekstrand et al., 2011; Hawkins et al., 2001; Junge & Dvořák, 2015; Mallo et al., 2011; Noya & Sillero, 2012; Noya et al., 2014) y los grupos musculares más frecuentemente

involucrados son los isquiosurales, el cuádriceps, aductores y gastrocnemios (Ekstrand et al., 2011; Mallo et al., 2011).

Hawkins et al. (2001) en un estudio epidemiológico prospectivo de las lesiones sufridas en el fútbol profesional inglés durante dos temporadas competitivas, observaron que el 81% de las lesiones en los muslos fueron distensiones musculares. Por su parte, Ekstrand et al. (2011) analizaron durante siete temporadas a 23 equipos de fútbol profesional, comprobando que el subtipo de lesión más común fue la distensión muscular del muslo, representando el 17% de todas las lesiones. En esta misma línea, el estudio de Junge & Dvořák (2015) analizó la incidencia de las lesiones durante la Copa Mundial de 2014, comprobándose que casi dos tercios de las lesiones afectaron a la extremidad inferior, siendo el diagnóstico más frecuente la distensión del muslo.

Si analizamos la incidencia lesional en el muslo, diversos estudios han observado que los mayores índices de lesión se registran en la región posterior (Corazza et al., 2014; Ekstrand et al., 2011; Mallo et al., 2011). En esta línea, como podemos ver en la Figura 21, Ekstrand et al. (2011) comprobaron que el 92% de todas las lesiones musculares afectaron a los cuatro grupos musculares principales de las extremidades inferiores en los diferentes grupos de edad: isquiosurales (37%), aductores (23%), cuádriceps (19%) y músculos de la pantorrilla (13%).

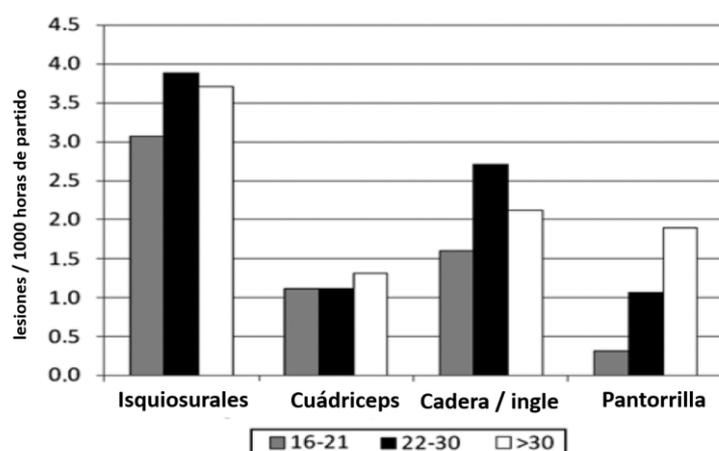


Figura 21. Incidencia de las 4 lesiones por distensión muscular, más comunes en grupos de edad de 16 a 21 años, de 22 a 30 años y en mayores 30 años. Fuente: Modificado de Ekstrand et al. (2011).

De manera más detallada, otro estudio de los mismos autores (Ekstrand et al., 2011) informó que las distensiones ocurridas en la parte posterior del muslo (isquiosurales, $n = 525$, 12%) fueron más comunes que las ocurridas en la parte anterior (cuádriceps, $n = 218$, 5%). Estos resultados van en la línea de los reportados por Corazza et al. (2014) en un estudio longitudinal de un año en futbolistas profesionales, mostrándose que un 48,1% de las lesiones se dieron en los isquiosurales, un 29% en cuádriceps frente a un 22,2% en aductores. Del mismo modo, Mallo et al. (2011) mostraron que las lesiones por distensión muscular en el muslo fueron las lesiones con mayor porcentaje de incidencia, causando el 29% del total de ausencias en competición. Este mismo estudio informó que las lesiones musculares en los cuatro grupos principales de las extremidades inferiores (isquiosurales, aductores, cuádriceps y músculos de la pantorrilla) causaron el 43% de indisponibilidad competitiva, siendo los isquiosurales, con una incidencia de 1 lesión / 1000 h de exposición, los que tuvieron la mayor tasa lesional. Estos estudios concluyeron que las lesiones musculares (las distensiones,

particularmente) que afectan a la región posterior del muslo de la pierna son las más comunes en los jugadores de fútbol.

Tabla 3. Estudios investigando la epidemiología de lesiones musculares en el fútbol profesional.

<i>Estudio</i>	<i>Tipo</i>	<i>Participantes</i>	<i>Principales hallazgos</i>
<i>Corazza et al. (2014)</i>	<i>Estudio longitudinal</i>	<i>84 hombres, edad media: 25,4 ± 5 rango: 16-36</i>	<i>El 48% en los isquiosurales, el 22% en aductores y un 29,6% en los cuádriceps</i>
<i>Ekstrand et al. (2011)</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>2299 futbolistas de élite</i>	<i>Isquiosurales (37%), aductores (23%), cuádriceps (19%) soleo/gemelo (13%)</i>
<i>Ekstrand et al. (2011)</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>23 equipos élite</i>	<i>La lesión más común fue la distensión del muslo, los isquiosurales un 12% más afectados que los cuádriceps.</i>
<i>Mallo et al. (2011)</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>Jugadores profesionales 24,8 ± 3,5 años</i>	<i>La distensión de los isquiosurales (28/62) fueron más frecuentes que en aductores (11/62), cuádriceps (10/62) y gastrocnemio y sóleos (9/62)</i>

Si nos centramos en el análisis de las lesiones musculares en el fútbol base, comprobamos que existe menor cantidad de evidencia disponible que respecto al fútbol adulto. Sin embargo, como podemos observar en la Tabla 4 durante la última década, la corriente investigadora que estudia la incidencia lesional en categorías de formación está aumentando (Cloke et al., 2012; Price et al., 2004; Raya et al., 2018; Renshaw & Goodwin, 2016; Valle et al., 2018) aunque con resultados algo controvertidos a la hora de diferenciar cual es la musculatura más afectada.

Tabla 4. Estudios investigando la epidemiología de lesiones en el fútbol base.

<i>Estudio</i>	<i>Tipo</i>	<i>Participantes</i>	<i>Principales hallazgos</i>
<i>Valle et al. (2018)</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>Atletas jóvenes con una edad promedio de 13,56 años</i>	<i>Las lesiones en cuádriceps superiores a las de isquiosurales y aductores. La incidencia aumentó en los grupos de mayor edad. Las lesiones en isquiosurales se dieron a partir de los 9 años, con una incidencia máxima a los 17.</i>
<i>Raya, Suarez, Larruskain, & Sáez de Villarreal, 2018</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>139 jóvenes jugadores (Senior, U19, U16 y U14)</i>	<i>La incidencia de lesiones fue menor en las categorías más jóvenes. Las lesiones de isquiosurales fueron las más comunes y más graves en las categorías senior, U19 y U16.</i>
<i>Nogueira, Laiginhas, Ramos, & Costa (2017)</i>	<i>Estudio observacional descriptivo</i>	<i>529 jugadores (U17-U19)</i>	<i>Mayor incidencia de lesiones en partidos que entrenamientos. La ubicación más afectada fue el muslo.</i>
<i>Renshaw & Goodwin (2016)</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>181 jugadores (9-18 años)</i>	<i>Las lesiones más comunes fueron musculares en U15 y U18. La localización más común fue el muslo anterior, seguido de la parte posterior.</i>
<i>Cloke et al. (2012)</i>	<i>Estudio de cohorte prospectivo</i>	<i>Jugadores de 8 a 16 años</i>	<i>El cuádriceps fue el grupo muscular más propenso a lesionarse. La proporción de lesiones severas aumentó con la edad.</i>
<i>Price, Hawkins, Hulse, & Hodson (2004)</i>	<i>Estudio epidemiológico prospectivo</i>	<i>38 academias de fútbol (9 y 19 años)</i>	<i>Los jugadores de mayor edad se lesionaron más que los grupos de edad más jóvenes. La mayoría de las lesiones en el muslo fue isquiosural.</i>

Del mismo modo que en categorías adultas, Price et al. (2004), analizaron la tasa lesional de jugadores de entre 9 y 19 años pertenecientes a las academias de 38 clubes profesionales de Inglaterra durante dos años completos. Estos autores, como se puede ver en la Tabla 5 hallaron que de las 3688 lesiones que fueron registradas las lesiones de naturaleza muscular (distensiones musculares) fueron las más comunes (39%), siendo el muslo la zona más lesionada (19%), siendo la mayoría distensiones (79%), concretamente, en los cuádriceps (25%) y los isquiosurales (34%), producidas durante acciones de carrera y otras acciones sin contacto. Y aunque la mayoría fueron moderadas la incidencia del total de lesiones aumentó linealmente con la edad, con la mayor prevalencia en las últimas categorías de edad formativa (U17-U19).

Tabla 5. Naturaleza de las lesiones sufridas. Fuente: Modificado de Price et al. (2004).

<i>Tipología lesional</i>	<i>n</i>	<i>% del total</i>
<i>Tensión muscular</i>	1141	31
<i>Esguince ligamentoso</i>	748	20
<i>Contusión muscular</i>	299	8
<i>Hematomas en el tejido</i>	261	7
<i>Tendinitis</i>	162	5
<i>Fracturas</i>	145	4
<i>Dolor lumbar</i>	117	3
<i>Osgood-Schlatter</i>	112	3
<i>Periostitis</i>	79	2
<i>Sinovitis inflamatoria</i>	71	2
<i>Desgarro meniscal</i>	48	1
<i>Rotura capsular</i>	32	1
<i>Corte</i>	31	1
<i>Sobreuso</i>	23	1
<i>Luxación</i>	21	1
<i>Rotura de ligamentos</i>	19	1
<i>Ingle/hernia abdominal</i>	17	1
<i>Otro diagnostico</i>	305	6
TOTAL	3688	100

En este mismo país, años después Cloke et al. (2012), realizaron un seguimiento durante 5 años, pero esta vez de las lesiones musculares del muslo en 41 equipos de las academias de fútbol de la Premier League inglesa (de 8 a 16 años), como se muestra en la Figura comprobando en este caso que de las 1288 la musculatura del cuádriceps era la más propensa a lesionarse, aunque las más severas fueron en isquiosurales. Un hallazgo muy interesante de este mismo estudio fue que a diferencia de los resultados reportados por Price et al. (2004), el porcentaje del total de lesiones de muslo (isquiosurales, aductores y cuádriceps) no varió significativamente con la edad del jugador (los jugadores U14 fueron los que sufrieron el mayor número de lesiones musculares seguidos por U15 y U16), aunque si varió la proporción de lesiones graves, la cual aumentó con la edad del jugador. Este estudio permitió confirmar que, aunque la frecuencia de las lesiones musculares no estaba relacionada con la edad en estas etapas, la gravedad de las lesiones era mayor a medida que los jugadores crecían y pasaban a la siguiente categoría de edad competitiva.

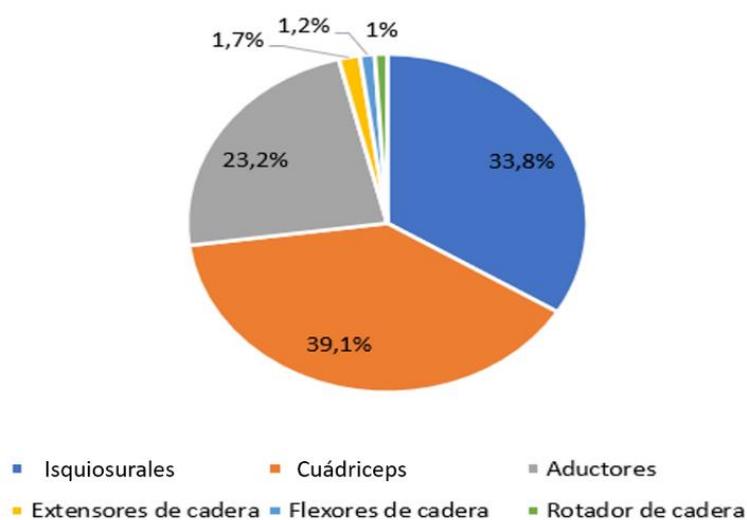


Figura 22. Distribución porcentual de todas las lesiones por grupo muscular. Fuente: Modificado de Cloke et al. (2012).

En la misma línea que el estudio epidemiológico prospectivo de Price et al. (2004), más de una década más tarde, Renshaw & Goodwin (2016) durante una temporada también analizaron la incidencia total de lesiones, pero esta vez en una única academia de fútbol de élite de la Premier League inglesa (181 jugadores divididos en grupos de edad entre 9 a 18 años). De las 127 lesiones reportadas estos autores encontraron también que las más frecuentes fueron las lesiones musculares en jugadores de U15 y U18 (cadetes y juveniles), siendo la distensión y la rotura muscular las más comunes (46%). En esta línea, Cloke et al. (2012) encontraron que la localización con mayor tasa lesional, aunque sin ser mucha la diferencia, era la parte anterior del muslo (21%), respecto a un 13% en la parte posterior. En cuanto a la incidencia de todos los tipos de lesiones entre partidos y entrenamientos (lesiones por cada 1000 horas de exposición) y de mayor gravedad, y en consonancia con los resultados de Price et al. (2004), estos autores encontraron que los grupos de edad con mayor incidencia fueron las categorías de U15, U16 y U18. No obstante, un hallazgo que nos llama la atención fue que los jugadores U12–14 (infantiles) sufrieron el mayor número de lesiones de entrenamiento y lesiones en general. Este mayor número de lesiones en jugadores U12–14 en comparación con jugadores U18 según los autores se explica por el mayor número de jugadores U12–14 en la muestra (el triple) y quizás también por los cambios que está sufriendo el jugador en esta etapa de desarrollo.

En la misma línea, pero en Portugal, Nogueira et al. (2017), replicando el patrón de los estudios anteriores en 529 jugadores juveniles (U17-U19), es decir, que el tipo de lesión más común era el que afectaba a los músculos y tendones (52,8%), siendo, una vez más, el muslo (24,6%) la región anatómica más comúnmente afectada. Estos hallazgos van en la línea de los observados en futbolistas profesionales (citados anteriormente), comprobándose que la musculatura isquiosural es la que sufre el mayor porcentaje de

lesiones. Además, también se puede comprobar que a medida que el jugador pasa de una categoría a otra es más propenso a sufrir un mayor número de lesiones musculares y de mayor gravedad.

Más recientemente, Raya et al. (2018) analizaron la incidencia lesional y las características de las lesiones musculares de 139 jugadores de la cantera de un equipo de fútbol profesional español (Senior, U19, U16 y U14) durante una temporada completa. Estos autores registraron un total de 57 lesiones musculares, cuya incidencia y número, al igual que los resultados vistos hasta ahora, fue menor cuanto menor era la categoría (ve Figura 23). Y en términos de gravedad, las lesiones moderadas fueron las más comunes y las graves las menos comunes. Siendo la musculatura isquiosural (más comunes en las categorías senior, U19 y U16,) y la aductora (más comunes en la categoría U14) las más afectadas y las que produjeron el mayor número de días de baja.

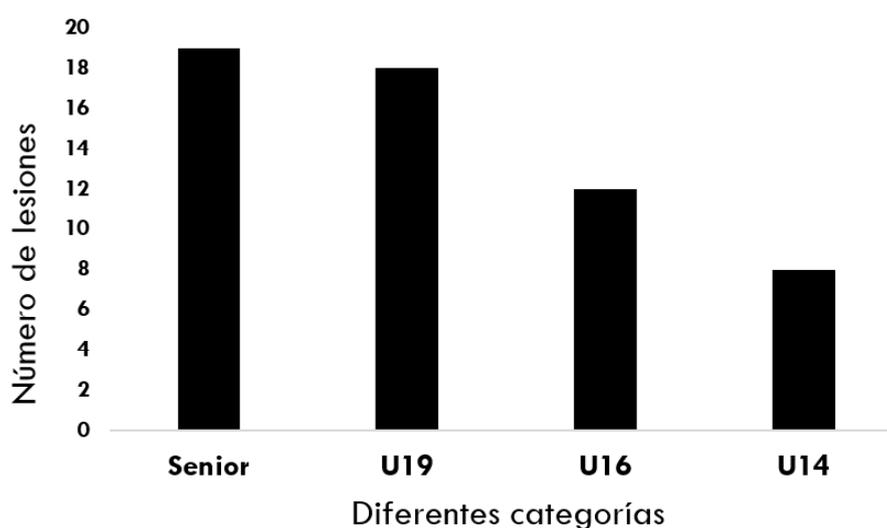


Figura 23. Número de lesiones musculares en las diferentes categorías de un club de fútbol profesional. Fuente: Modificado de Raya et al. (2018).

En esta misma línea, Valle et al. (2018) en una muestra de 1157 jóvenes atletas con un rango de edad de 6 a 18 años, pertenecientes a diferentes deportes colectivos del FC Barcelona, de los cuales más del 50% eran futbolistas, comprobaron que las lesiones musculares del muslo representaron el 8,58% con una distribución del 37,6% en cuádriceps, el 35% en isquiosurales y en aductores un 27,3%. Y cuya incidencia de lesiones musculares en el muslo aumentó progresivamente hasta los 15 años y fue algo menor a los 16 y 18 años de edad, pero aún fue mayor que a edades más tempranas.

Como se puede observar en los diferentes estudios epidemiológicos, es a partir de los 14-15 años (categoría infantil y primer año de cadetes) la etapa dentro del fútbol base cuando de manera considerable comienzan a darse un mayor número de lesiones musculares (Valle et al., 2018). A pesar de la cierta controversia existente a la hora de diferenciar cual es la musculatura del muslo más afectada, parece que tanto en jóvenes como sobre todo en el fútbol adulto la lesión del grupo muscular de los isquiosurales tiene una elevada prevalencia. Por lo tanto, y como objeto de la presente tesis, en los siguientes subapartados pasamos a estudiar con detenimiento la lesión en este grupo muscular.

2.5.6. Lesiones en isquiosurales.

Como se ha comentado anteriormente, más del 50% de las lesiones musculares afectan a la región del muslo, siendo los isquiosurales la zona anatómica más común y prevalente en fútbol. Tanto en adultos, representando el 12% del total de lesiones (ver Tabla 6), siendo la mayoría de severidad moderada (Ekstrand et al., 2011; Ekstrand et al., 2011), como en jóvenes futbolistas (Valle et al., 2018). Además, los isquiosurales sufren un alto porcentaje de recidivas (Engebretsen et al., 2010; Liu et al., 2012; Sanfilippo et al., 2013; Woods et al., 2004). Y claramente tienen un mayor riesgo de producirse durante

los partidos y, más concretamente, al final de la primera y segunda parte (últimos 15 minutos de ambas mitades), debido especialmente a condiciones de fatiga tanto en adultos (Buckthorpe et al., 2019; Dadebo, 2004; Petersen et al., 2010; Small et al., 2010; Woods et al., 2004) como el fútbol base (Price et al., 2004).

Tabla 6. Incidencia, prevalencia y naturaleza de las 4 lesiones musculares más comunes. Fuente: Modificado de Ekstrand et al. (2011).

	<i>Isquiosurales</i>	<i>Cuádriceps</i>	<i>Aductores</i>	<i>Pantorrilla</i>
<i>n</i> (% del total n. de lesiones)	1084 (12)	485 (5)	672 (7)	368 (4)
<i>Prevalencia de temporada</i> . %	17	8	14	6
<i>Total de incidencia de lesiones (95% CI)</i>	0.92 (0.87-0.98)	0.41 (0.38-0.45)	0.57 (0.53-0.62)	0.31 (0.28-0.35)
<i>Incidencia de lesiones, entrenamiento^a</i>	0.43 (0.39-0.47)	0.28 (0.25-0.32)	0.32 (0.29-0.36)	0.18 (0.16-0.21)
<i>Incidencia de lesiones, partido^a</i>	3.70 (3.43-3.99)	1.15 (1.00-1.32)	2.00 (1.80-2.22)	1.04 (0.90-1.20)
<i>Gravedad de la lesión (%)</i>				
<i>Mínima (1-3 días)</i>	140 (13)	60 (12)	119 (18)	50 (14)
<i>Leve (4-7 días)</i>	272 (25)	120 (25)	210 (31)	93 (25)
<i>Moderada (8-28días)</i>	556 (51)	233 (48)	275 (41)	177 (48)
<i>Grave (>28 días)</i>	116 (11)	72 (15)	68 (10)	48 (13)
<i>Días de ausencia / lesión, media ± SD</i>	14.3 ± 14.9	16.9 ± 19.2	14.0 ± 24.3	14.7 ± 14.4
<i>Recaídas (%)</i>	174 (16)	81 (17)	124 (18)	48 (13)

^a Incidencia de lesiones por lesiones musculares expresada como número de lesiones / 1000 horas de exposición total (intervalo de confianza del 95%).

A pesar de que los datos de muchos estudios han respaldado la efectividad de diversos programas orientados a la prevención de lesiones, haciendo énfasis del entrenamiento excéntrico (Arnason et al., 2008; Askling et al., 2003; Buckthorpe et al., 2019; Croisier et al., 2008; Mendiguchia et al., 2012; Ribeiro-Alvares et al., 2018; Shadle & Cacolice, 2017; van der Horst et al., 2015), Ekstrand et al. (2016) en un análisis longitudinal de 13 años (desde 2001 hasta el 2014) en jugadores profesionales de fútbol

masculino, observaron que la incidencia de lesiones en los isquiosurales aumentó anualmente en un 4%.

Para poder comprender el porqué de esta alta prevalencia lesiva, hay que tener en cuenta su anatomía, su arquitectura, y su función.

2.5.6.1. La musculatura isquiosural.

Los isquiosurales (ver Figura 24) son un complejo muscular formado por tres músculos localizados en la parte posterior del muslo. Por una parte, están el músculo semimembranoso y el semitendinoso, situados medialmente, y, por otra parte, están las dos cabezas del bíceps femoral (larga y corta) situados lateralmente (Linklater et al., 2010).

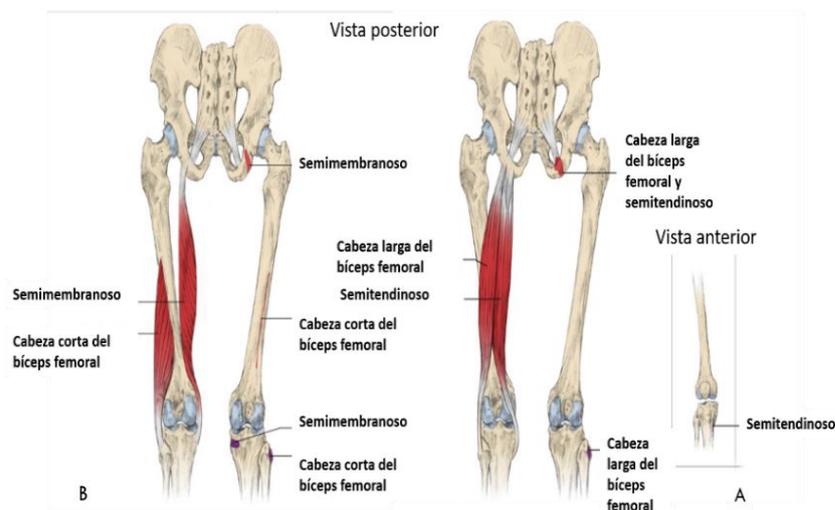


Figura 24. Los músculos isquiosurales. (A) El semitendinoso y la cabeza larga del bíceps femoral. (B) El semimembranoso y la cabeza corta del bíceps femoral. Fuente: Modificado de Mansfield & Neumann (2019).

La cabeza larga del músculo bíceps femoral se origina en la parte posteromedial inferior de la tuberosidad isquiática del isquion, conjuntamente con el semitendinoso, en un tendón conjunto (Miller et al., 2007). La cabeza corta del bíceps femoral (el único músculo que cruza una sola articulación) se origina en el tercio inferior del intersticio del labio lateral de la línea áspera del fémur. El músculo semimembranoso (el más interno) se origina en la parte superior y externa de la tuberosidad isquiática, justo por arriba y por fuera del origen del bíceps femoral y el músculo semitendinoso (Linklater et al., 2010; Woodley & Mercer, 2005). Todos ellos, excepto la porción o cabeza corta del bíceps, son biarticulares, es decir, cruzan las articulaciones de cadera y la rodilla posteriormente, insertándose distalmente en la cabeza del peroné (el tendón del bíceps femoral) y en cóndilo medial de la tibia (el semimembranoso y semitendinoso) (Woodley & Mercer, 2005).

Según datos recogidos del estudio de ward et al. (2009) sobre las propiedades arquitectónicas de los diferentes músculos que conforman los isquiosurales. Situado medialmente, el músculo semitendinoso presenta según luna longitud de fibra muscular significativamente mayores (19,3 cm), un área de sección transversal fisiológica (ASTF) inferior (4,8 cm²), con una disposición más paralela de las fibras (con un ángulo de penación de 12,9°) y un tendón distal más largo (ward et al., 2009). Por lo tanto, mecánicamente tiene una arquitectura fusiforme que le permite contactar a través de un mayor rango de movimiento (mayor excusión muscular), favorable a la velocidad de acortamiento y aprovechar un mayor grado de amortiguación / energía elástica, pero con bajos niveles de fuerza (Kellis et al., 2012; Ward et al., 2009). El semimembranoso (justo al lado del anterior), por otro lado, con su longitud de fibra más corta (6,9 cm), una mayor ASTF (18,4 cm² y un ángulo de penación de 15,1 °) y un tendón más corto, quizás tenga un diseño y un papel más importante en la estabilización de la rodilla y resistir las fuerzas

(Kellis et al., 2012). En cuanto al bíceps femoral (cabeza corta), monoarticular y de tipo fusiforme, es un músculo relativamente mixto con una longitud de fibra moderada (11 cm) y una ASTF también moderada (5,1 cm²), el cual presenta una situación ventajosa en la velocidad de contracción muscular. Mientras que el bíceps femoral (cabeza larga), biarticular, presenta una longitud de fibra inferior (9,7 cm) y una mayor ASTF (11,3 cm²) (Kellis et al., 2012; Ward et al., 2009). Este diseño y sus características biomecánicas respecto a su “vecino”, lo condicionan a una mayor capacidad de generar fuerza y de soportar mayores cargas y por lo tanto lo colocan en una situación de relativo riesgo de lesión (Made et al., 2015; Woods et al., 2004).

El carácter biarticular de la musculatura isquiosural le confiere una acción combinada extensora sobre la cadera (desempeñando un papel esencial en la estabilidad de la pelvis) y flexora sobre la rodilla. Además, con la rodilla flexionada, el semitendinoso y el semimembranoso ayudan también a la rotación interna de la rodilla, mientras que ambas cabezas del bíceps femoral contribuyen a la rotación externa (Kapandji, 2010). Esta peculiaridad anatómica, junto a su distribución de tipo de fibra muscular longitudinal y el elevado número de fuerzas tensionales a las que se ve sometida (como se ha desarrollado en el subapartado 2.5.1.2.1), hacen que esta musculatura presente una fuerte tendencia al acortamiento y que sea muy susceptibles a sufrir lesiones (Croisier, 2004; Small et al., 2010), principalmente en la localización proximal de la cabeza larga del bíceps femoral y el semitendinoso (Fiorentino & Blemker, 2014; Made et al., 2015). Además, esta musculatura suele tener una elevada demanda de contracción excéntrica, absorbiendo y transmitiendo grandes cargas de tracción a través de sus sarcómeros en serie y largos tendones que provocan tensión en las alargadas uniones músculo-tendinosas, sobre todo durante su solicitud en las actividades de carrera, siendo

esta una de las peculiaridades funcionales que aumentan también el riesgo de lesión (Linklater et al., 2010).

2.5.6.2. Contexto de las lesiones en isquiosurales: entrenamiento vs competición.

Cuando observamos el contexto en el que se producen las lesiones en isquiosurales (ver Figura 25), es decir, si han tenido lugar durante competición o si se han producido en entrenamiento, estudios anteriores han reportado que las distensiones en este grupo muscular se observaron con mayor frecuencia durante los partidos (62%) con un aumento al final de cada mitad (Woods et al., 2004). Dalton et al. (2015), describieron la epidemiología de las distensiones de los isquiosurales en 25 campeonatos deportivos de la “*National Collegiate Athletic Association*”, entre los cursos 2009 y 2014, encontrando que la mayoría de las distensiones de los isquiosurales ocurrieron durante entrenamientos (68,2%). Sin embargo, estos autores observaron que la tasa de lesiones (número total de lesiones por cada 10.000 exposiciones deportivas) en competición (5,2 por cada 10.000 exposiciones) fue mayor que la de los entrenamientos (2,5 por 10.000 exposiciones). Del mismo modo, el estudio longitudinal realizado por (Ekstrand et al., 2016) durante 13 años mostró que la tasa de lesiones en competición fue 9 veces mayor que la tasa de lesiones por entrenamiento. De hecho, el promedio anual de prevalencia de lesiones por isquiosurales durante el juego fue de 15,1% y durante el entrenamiento del 9,3%. No obstante, otro hallazgo que llamó la atención en este estudio fue que la tasa lesional en entrenamiento aumentó significativamente desde 2001 al 2014 (un 4% por año), mientras que la tasa lesional en competición se mantuvo estable. Según estos autores, una posible explicación a esta tendencia creciente en el riesgo de lesiones en los isquiosurales en el

contexto de entrenamiento, se relacionaría con el aumento de la intensidad de los entrenamientos y la inclusión de un mayor número de acciones de alta intensidad con la intención de modelar la realidad de las demandas del juego. Este hecho buscaría que los jugadores estén mejor preparados para situaciones específicas de competición, pero los resultados mostrarían que, aunque la prevalencia de lesiones en isquiosurales es mayor en partidos, no haya variado en este contexto. Los autores especulan con la hipótesis de que, si esta tendencia continúa, el riesgo de lesiones en isquiosurales en los partidos debería de reducirse lentamente, mientras que la prevalencia en los entrenamientos se acercará a la de los partidos.

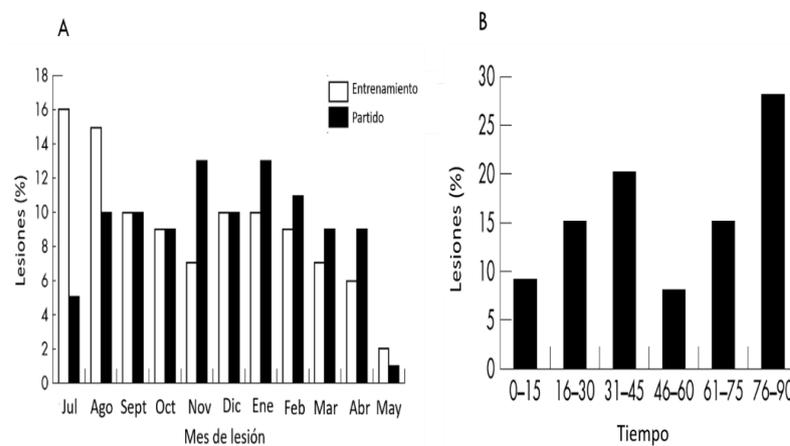


Figura 25. Mes de lesión de los isquiosurales durante el entrenamiento y los partidos (A). Tiempo de la distensión de los isquiosurales que ocurre durante el partido (B). Fuente: Modificado de Woods et al. (2004).

2.5.6.3. Momento de lesión: temporada vs pretemporada.

Respecto al momento en el que se producen las lesiones en isquiosurales, la mayoría de los estudios coinciden en afirmar que el mayor porcentaje de lesiones se suele dar tras largos periodos de descanso (Ekstrand et al., 2011; Petersen et al., 2010),

identificando dos momentos clave: el descanso tras finalizar la temporada (pretemporada) y el descanso de invierno (mitad de temporada). Petersen et al. (2010) analizaron la incidencia de lesiones agudas en isquiosurales en futbolistas profesionales, registrando la mayor acumulación de lesiones en los primeros dos meses tras el descanso de invierno (tres meses y medio). Resultados similares fueron reportados por el estudio epidemiológico prospectivo de Price et al. (2004) durante dos temporadas completas en 38 academias de fútbol, donde se observó que de diciembre a enero y de julio a agosto (dos períodos después de un descanso en la actividad) se produjo la mayor incidencia de lesiones tanto en partidos como entrenamientos. Dalton et al. (2015) documentaron que en la temporada regular se observaron el 52.9% de las lesiones, mientras que la tasa lesiva observada en pretemporada (5 por 10.000 exposiciones) fue mayor que la evaluada durante la temporada regular (2,3 por 10,000 exposiciones). Más recientemente, Valle et al. (2018), en jóvenes atletas, observaron que la incidencia lesional en isquiosurales se distribuyó uniformemente durante la temporada, aunque observaron una tendencia a la mayor incidencia en los últimos dos meses de la temporada, debido seguramente a una acumulación de la fatiga y a una mayor acumulación de partidos.

2.5.6.4. *Biomecanismo lesivo de las lesiones en isquiosurales.*

Uno de los biomecanismos lesivos más importantes y estudiados en esta lesión es un estiramiento activo a alta velocidad y a altos picos de fuerza y potencia durante la última fase de balanceo u oscilación (del inglés, “*swing phase*”), como se puede ver en la Figura 26, justo antes del contacto con el suelo (paso de acción excéntrica de desaceleración a fase concéntrica) en acciones de sprint y aceleraciones (Askling et al., 2008; Chumanov et al., 2012; Small et al., 2009; Thelen et al., 2005; Wan et al., 2017a).

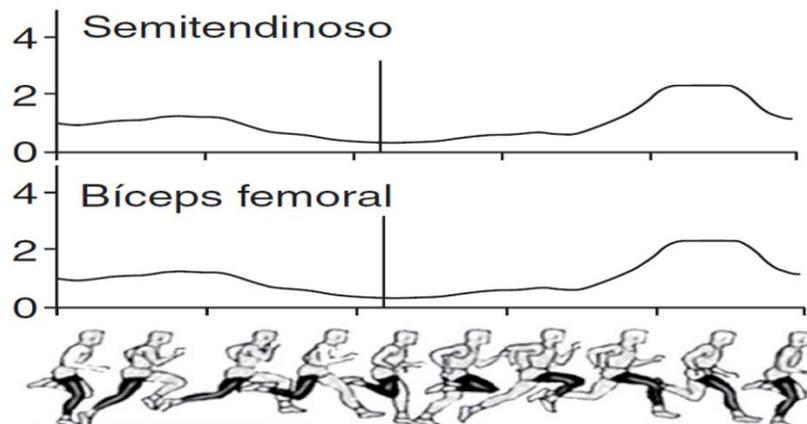


Figura 26. Fases de la carrera y su relación con la tensión que se genera sobre esta musculatura. Durante la fase de balanceo los isquiosurales se activan y estiran simultáneamente, absorbiendo la energía del miembro inferior y creando unas condiciones óptimas para la lesión. Fuente: Recuperado de de Hoyo et al. (2013).

Se ha descrito que es en este momento cuando los isquiosurales trabajan excéntricamente para desacelerar tanto la flexión de la cadera como la extensión de la rodilla, absorbiendo y redistribuyendo la energía cinética de la extremidad oscilante antes del contacto del pie. Produciéndose aquí momentos de gran tensión/activación de la unión musculo-tendinosa (UMT) (Higashihara et al., 2018) mientras simultáneamente se da un alargamiento a alta velocidad del elemento contráctil y el elemento elástico en serie y el consecuente límite mecánico y el posterior fallo (Chumanov et al., 2011). Esto significa que las fibras musculares se activan (en oposición a la elongación) al mismo tiempo que se alargan, soportando así grandes fuerzas internas superiores al límite mecánico del tejido en el punto de ruptura. Esto supondría el daño muscular a nivel estructural, normalmente en la parte proximal (tendón intramuscular de la aponeurosis) de la cabeza larga del bíceps femoral, el cual experimenta un mayor alargamiento de UMT (aumento de la distancia entre los puntos de fijación de los isquiosurales) durante esta fase de la

carrera que los otros músculos isquiosurales (Cabello et al., 2015; Chumanov et al., 2007; Cohen et al., 2011).

Aunque comúnmente se supone que hay una acción excéntrica de los isquiosurales durante la fase de balanceo de la carrera de alta velocidad, Van Hooren & Bosch (2017) más recientemente (ver Figura 27), en un modelo en humanos, defienden que el EC se alarga pasivamente (absorción de la energía elástica) asociado a la tensión muscular durante la fase de balanceo y mantiene una acción casi isométrica o incluso se contrae ligeramente durante la última fase del “*swing*” (justo antes del contacto con el suelo, momento donde hay mayor actividad EMG y momento fuerza) mientras que el elemento elástico en serie (tendinoso) se estira a medida que la rodilla se extiende, y luego retrocede haciendo que la pierna oscilante se retraiga con fuerza antes del contacto con el suelo. Así pues, aunque estudios previos han mostraron cierto estiramiento activo del EC (muscular) durante la media y última fase de balanceo de la carrera de alta velocidad, estos autores, sin descartar una acción excéntrica como la causa de lesiones de isquiosurales, argumentan en su modelo que la distancia creciente entre los puntos de anclaje miotendinosos durante esta fase no debe interpretarse/simplificarse exclusivamente como una acción excéntrica del EC, la cual se da de manera esporádica (por ejemplo cuando hay una pérdida del control coordinativo de la pelvis, que aumenta la distancia entre los extremos dejando el músculo vulnerable a las lesiones o cuando el EC es incapaz de permanecer isométrico cuando las fuerzas son demasiado altas durante la última fase), sino predominantemente una acción isométrica del EC de los isquiosurales.

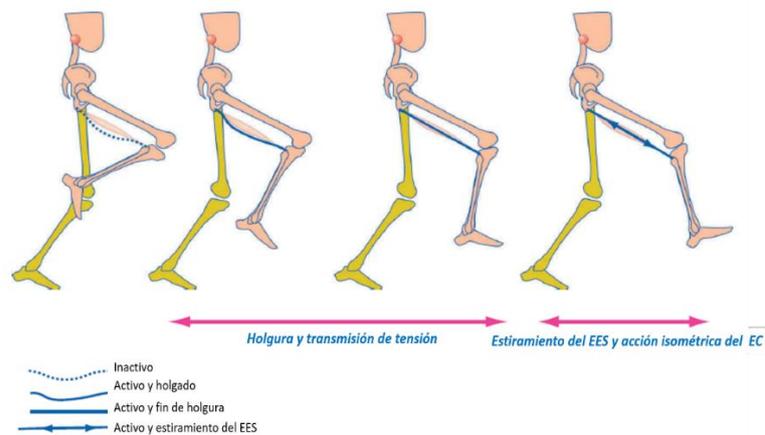


Figura 27. Ejemplo del fenómeno de holgura o látigo del elemento contráctil (EC), elemento elástico en serie (EES) y la unidad musculo-tendón (UMT) total por la acción del péndulo de la pierna, después de lo cual el EES se estira mientras el EC permanece en isométrico. Fuente: Modificado de Van Hooren & Bosch (2017).

2.5.6.5. Lesiones isquiosurales en jóvenes jugadores de fútbol.

Las lesiones en los isquiosurales son menos frecuentes en los jugadores de fútbol jóvenes que en los adultos (Rolls & George, 2004). Sin embargo, y probablemente debido a la especialización temprana (mayor demanda de competitividad y un aumento en el volumen y la intensidad del entrenamiento), algunos estudios han mostrado un mayor riesgo de lesiones en las extremidades inferiores en el fútbol base (Bowen et al., 2017), especialmente en los isquiosurales con picos a la edad de 15 y 17 años (Valle et al., 2018).

El deportista en formación se encuentra en un estado “esqueléticamente inmaduro” que implica procesos de construcción de las epífisis, osificación y desarrollo de estructuras de soporte (Frank et al., 2007). En esta etapa de crecimiento y desarrollo, una contracción excéntrica vigorosa en la UMT de los isquiosurales (muy común en los deportes que implican carreras y cambios de dirección a gran velocidad) podría provocar una lesión en los isquiosurales e, incluso, una avulsión traumática de la apófisis isquial

del esqueleto generalmente inmaduro (Gidwani et al., 2004; Linklater et al., 2010; Valle et al., 2018).

El estudio desarrollado durante una temporada por Raya et al. (2018) mostró que los isquiosurales eran los músculos con mayor incidencia de lesiones, con una mayor prevalencia en los jugadores de mayor edad (en juveniles) respecto a los más jóvenes. Estos resultados van en la línea de los reportados anteriormente por (Rolls & George, 2004). En esta misma línea de investigación, Cloke et al. (2012) observaron que, en futbolistas jóvenes (de 8 a 16 años), la musculatura isquiosurales fue el grupo muscular que sufrió un mayor porcentaje de lesiones graves (ver Figura 28). Y, aunque la frecuencia de las lesiones de los isquiosurales no estaba relacionada con la edad en estas etapas, la gravedad de las lesiones fue mayor a medida que los jugadores crecieron. Más recientemente, Valle et al. (2018) analizaron las lesiones de isquiosurales en 1157 atletas jóvenes (6–18 años) pertenecientes a diferentes deportes de equipo. Los resultados de este estudio mostraron que los isquiosurales (junto a los cuádriceps) representaban el grupo muscular con la mayor incidencia de lesiones, cuyo inicio se empieza a observar a los 9 años y tiene una incidencia máxima entre los 15 y 17 años. Distribuyéndose a nivel anatómico de la siguiente manera: semitendinoso y semimembranoso (41,4%) y bíceps (34,1%). Además, el 24,3% de los casos solo se refería a lesiones leves como el dolor muscular de aparición tardía (DOMS) en la región posterior del muslo. Cabe resaltar que, de todos los deportes analizados en este estudio, el fútbol, el fútbol sala y el balonmano fueron los deportes con tasa lesional en isquiosurales.

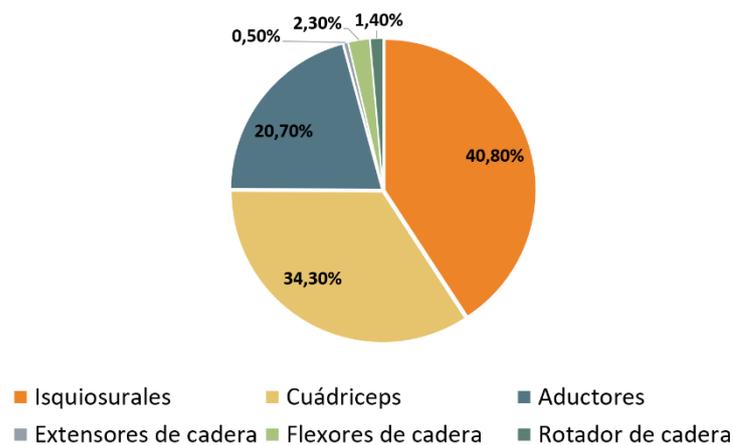


Figura 28. Distribución porcentual de lesiones por grupo muscular según la gravedad de las lesiones en jóvenes futbolistas. Fuente: Modificado de Cloke et al. (2012).

2.5.6.6. Factores de riesgo de las lesiones en isquiosurales.

En el caso de las lesiones en la musculatura isquiosural, como se puede ver en la Figura 29, son muchos los posibles factores de riesgo (internos y externos, modificables y no modificables) que pueden estar implicados. Los cuales no operan de forma aislada, sino que funcionan como una red compleja de naturaleza multifactorial (Bittencourt et al., 2016). Y por lo tanto es difícil entender las interacciones de múltiples factores de riesgo a la hora de controlarlos y prevenirlos. En este sentido, Buckthorpe et al. (2019), para facilitar esta cuestión, en un reciente estudio dividieron los factores de riesgo en la musculatura isquiosural en factores de riesgo importantes y semi importantes. Y, a su vez, lo factores importantes los dividieron en específicos y generales.

Respecto a los factores importantes específicos, podemos destacar: Haber sido previamente afectado por una lesión en isquiosurales (Engebretsen et al., 2010; Henderson et al., 2010), déficits de fuerza excéntrica isquiosural (Arnason et al., 2008; Askling et al., 2003; Ribeiro-Alvares et al., 2020; van der Horst et al., 2015) exposición semanal excesiva o insuficiente a situaciones de velocidad máxima (Malone et al., 2017),

déficit de flexibilidad isquiosural (Henderson et al., 2010; Ribeiro-Alvares et al., 2020) la resistencia a la fatiga de los isquiosurales (Small et al., 2009, 2010). En cuanto a los factores de riesgo importantes de carácter generales, podemos destacar: Alteraciones en la estabilidad lumbopélvica de cadera y en el control motor (Cameron et al., 2003; Ribeiro-Alvares et al., 2020; Schuermans et al., 2017), ROM reducido en la articulación de la cadera (Henderson et al., 2010), carga de trabajo aguda y crónica (Bowen et al., 2017), bajos niveles fuerza funcional (Askling et al., 2003; Cameron et al., 2003; Lehance et al., 2008), factores psicosociales (sueño, descanso, nutrición, factores de estrés...) (Ivarsson et al., 2017), tiempo entre partidos y cualquier tipo de lesión anterior reciente (Orchard, 2001). Por otra parte, como factores de riesgo semi importantes, destacan la arquitectura del fascículo muscular / tendón (los jugadores con fascículos más cortos, con menos sarcómeros en serie, tienen un mayor riesgo que los jugadores con fascículos más largos) (Ribeiro-Alvares et al., 2020; Timmins et al., 2014; Timmins et al., 2016), factores ambientales, tales como la temperatura (Gaku Tokutake & Rieko Kuramochi, 2020) la superficie de juego y/o tipo de calzado (O’Kane et al., 2016; Williams et al., 2016).

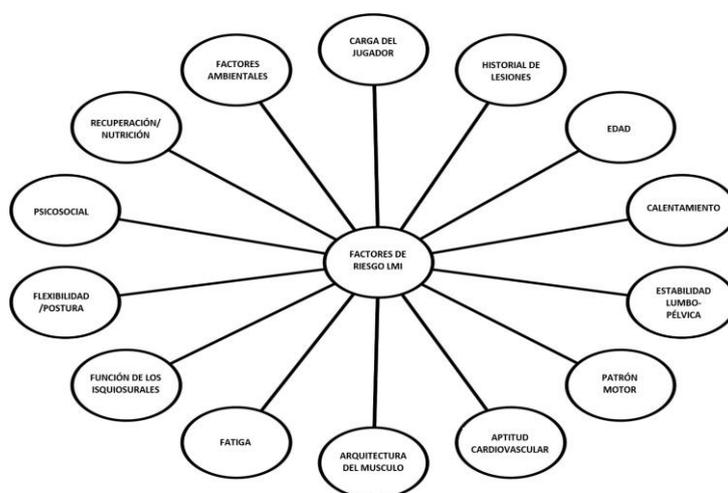


Figura 29. Diagrama de factores a considerar en la prevención de lesiones musculares isquiosurales. Fuente: Modificado de Buckthorpe et al. (2019).

A continuación, detallamos algunos de los factores de riesgo intrínsecos modificables (la flexibilidad/rango de movimiento, fuerza y control motor) y no modificables (lesiones previas y la edad) más estudiados y discutidos por la literatura científica en relación a la lesión de isquiosurales y que más interés tiene en la presente tesis doctoral.

2.5.6.6.1. Factores de riesgo de lesión isquiosural intrínsecamente no modificables.

- Lesiones previas.

La lesión de isquiosurales se considera una afección con un gran porcentaje de recidiva, definida esta como las lesiones del mismo tipo y en el mismo sitio ocurrida después del regreso de un jugador a la participación completa tras una lesión anterior (Ekstrand et al., 2013), siendo la existencia de lesiones previas el factores de riesgo más importantes en la aparición de lesiones en esta musculatura (Engebretsen et al., 2010; Liu et al., 2012; Sanfilippo et al., 2013; Woods et al., 2004). Woods et al. (2004), obtuvieron en su estudio entre una población de futbolistas un valor del 12% de lesiones recurrentes en esta musculatura. No obstante, en este estudio no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la gravedad de las lesiones nuevas y de las recidivantes. En este sentido, Ekstrand et al. (2013) casi una década más tarde, en futbolistas profesionales también evidenciaron que los deportistas que se lesionaron y que vuelven a practicar el deporte antes de su recuperación total corren un alto riesgo de volver a lesionarse y, según estos autores, posiblemente con mayor gravedad. Este factor puede que este agravado por un período de recuperación incompleto tras producirse la afección (Ekstrand et al., 2013).

Y que esté relacionado con el hecho de que la lesión anterior reduzca el límite mecánico debido a la formación de un tejido cicatrizal de mala calidad generado por la lesión previa, sobre todo en las lesiones ubicadas en la zona miotendinosa. En este sentido, hay alguna evidencia con ultrasonidos que demuestra que en deportistas con antecedentes de distensión de isquiosurales se observa una reducción significativa en la longitud del fascículo, lo que sugiere que este es un factor de riesgo primario para lesiones futuras si no se corrige (Timmins et al., 2014).

- *La edad.*

Este es otro de los factores de riesgo no modificables más estudiados. La literatura existente muestra un aumento de la prevalencia y la gravedad de las lesiones isquiosurales conforme aumenta la edad del deportista, algo que resulta observable tanto en jugadores adultos (Freckleton & Pizzari, 2013; Henderson et al., 2010; Woods et al., 2004) como durante las etapas de crecimiento (Cloke et al., 2012; Raya et al., 2018; Rolls & George, 2004). El estudio de Rolls & George (2004), desarrollado en jugadores de fútbol base (9-19 años de edad) pertenecientes a la academia de un club de élite, observaron un incremento del 32% de la frecuencia de las lesiones del grupo de edad de 9 a 10 años al grupo de 17 a 19 años. Del mismo modo, (Cloke et al., 2012), como ya se ha citado anteriormente, en jóvenes futbolistas de 8 a 16 años observaron que, aunque el porcentaje del total de lesiones en isquiosurales no varió significativamente con la edad del jugador, sí varió la proporción de lesiones graves, la cual aumentó con la edad del jugador. Mas recientemente, Raya et al. (2018), en un estudio en el que se registraron las lesiones y el tiempo de exposición de 139 jugadores de fútbol de 4 categorías (sénior, U19, U16 y U14) reportaron una incidencia de lesiones en isquiosurales menor cuanto menor era la

categoría (de 0,5 a 0,7/1000h). Según estos estudios, esta mayor incidencia y la mayor gravedad a medida que el jugador pasa de una categoría a otra puede estar relacionada con la existencia de mayores fuerzas de impacto en el juego, las cuales van unidas a una mayor demanda física.

Estos datos en el fútbol base se aproximan a los valores encontrados en jugadores adultos. Henderson et al. (2010), en futbolistas ingleses estimaron que las probabilidades de sufrir lesiones en los isquiosurales a partir de 23 años aumentaron x 1,7 veces por cada aumento de 1 año en edad, siendo los jugadores que se encontraban en la franja de mayor edad los que presentaban un mayor número de lesiones en esta musculatura. En adultos, aunque no está claro, se hipotetiza la reducción del ASTF, una degeneración de las fibras musculares, así como una reducción de los niveles de fuerza y flexibilidad como una posible explicación en esta relación de incremento de edad e incremento del riesgo lesional en isquiosurales (Henderson et al., 2010; Orchard, 2001; Prior et al., 2009).

2.5.6.6.2. Factores de riesgo de lesión isquiosural intrínsecamente modificables.

- La fuerza.

Los déficits y los desequilibrios de fuerza en los músculos isquiosurales por debajo del nivel fisiológico, ha sido uno de los factores de riesgo más asociado a la lesión de dicha musculatura a medida que el jugador avanza de edad (Freckleton et al., 2014; Freckleton & Pizzari, 2013; Ribeiro-Alvares et al., 2020; Vicens-Bordas et al., 2020), sobre todo a la hora de compensar el momento de fuerza hacia delante y contrarrestar la fuerza de los potentes extensores de rodilla en la fase final del " *swing* " de la carrera,

momento en el que como ya hemos explicado anteriormente se requiere una gran activación excéntrica e isométrica de los isquiosurales y la consecuente tensión que se ejerce sobre la unión miotendinosa (Van Hooren & Bosch, 2017).

Varios son los estudios que han mostrado de manera significativa debilidades previas de los músculos posteriormente lesionados (Freckleton et al., 2014; Timmins et al., 2016). En este sentido, Freckleton et al. (2014) en jugadores de fútbol australiano mostraron unos valores significativamente inferiores de fuerza isquiosural (evaluada con el test de puente de isquiosurales a una pierna) en los jugadores que durante la temporada sufrieron lesiones de isquiosurales. Mas recientemente, Timmins et al. (2016) en 152 jugadores de fútbol de elite de ocho equipos diferentes, determinaron la curva de fuerza excéntrica utilizando un dispositivo específicamente diseñado para medir la fuerza realizada mientras se realiza el ejercicio curl nórdico de isquiosurales, llamado NHC (del inglés “*Nordic Hamstring Curls*”), encontrando que existía una relación estadísticamente significativa entre la menor fuerza de estos músculos y la incidencia lesional.

El entrenamiento de fuerza excéntrica de los isquiosurales es uno de los factor estudiados que ha demostrado reducir el índice de lesión muscular en jugadores de fútbol (Arnason et al., 2008; Askling et al., 2003; Schache, 2012). Schache (2012), en un estudio con 942 futbolistas daneses mostraron 15 lesiones de isquiosurales en el grupo que realizó un programa de fortalecimiento excéntrico (NHC) de los músculos isquiosurales de 27 sesiones en un período de 10 semanas, frente a 52 lesiones del grupo control que no realizó dicho programa. Mismo resultados fueron reportados hace más de una década, (Arnason et al., 2008), observaron que un programa de entrenamiento de fuerza excéntrica sobre los músculos isquiosurales parece reducir el riesgo de distensiones en esta musculatura, ya que la incidencia fue menor en los equipos que realizaron el programa en comparación con los equipos que no. En la misma línea, Askling et al.

(2003), unos años antes, examinó el efecto de realizar durante la pretemporada un entrenamiento de fuerza con sobrecarga excéntrica (mediante un dispositivo inercial) durante 10 semanas (16 sesiones de entrenamiento específico de fuerza) en 30 jugadores de fútbol suecos de elite. El resultado más importante del estudio fue que la cantidad de lesiones en los isquiosurales disminuyó significativamente en el grupo de entrenamiento. De las 15 lesiones que se dieron en los isquiosurales en los dos grupos, 10 ocurrieron en el grupo de control y solo tres en el grupo de entrenamiento.

Otro aspecto a considerar como un factor de riesgo de lesión modificable es la existencia de un desequilibrio de fuerza entre la musculatura agonista/antagonista con una baja relación de isquiosurales a cuádriceps (Croisier et al., 2008). De esta forma, Croisier et al. (2008) mediante mediciones isocinéticas estimaron el ratio mixto excéntrico de isquiosurales / concéntrico cuádriceps, llamado H/Q ratio (del inglés “*eccentric hamstring/ concentric quadriceps ratio*”) a partir del torque máximo excéntrico de los isquiosurales a una velocidad de 30°/s, y el torque máximo concéntrico del cuádriceps a una velocidad de 240°/s, determinando que diferencias mayores a un 20% son indicativas de un riesgo de lesión importante.

- *Factores coordinativos y de control motor.*

Un control neuromuscular proximal o estabilidad de la zona media, (del inglés, “*core stability*”) deficiente, así como una activación muscular alterada se consideran un factor de riesgo importante y clave en la prevención primaria de la lesión de los isquiosurales (Schuermans et al., 2017; Sole et al., 2012), a pesar de que la evidencia científica al respecto es algo limitada en la actualidad. Schuermans et al. (2017), mediante electromiografía de superficie (EMG, del inglés “*Surface electromyography*”) evaluaron

la actividad muscular del glúteo mayor y de la musculatura del tronco/columna durante aceleraciones máximas, observando que los jugadores que no experimentaron una lesión en los isquiosurales durante una temporada y media de seguimiento, tuvieron unas activaciones significativamente más altas en los músculos glúteos y musculatura del tronco. Concluyendo que mayores cantidades de actividad muscular de los glúteos y de la unidad central del cuerpo parecía estar asociada con un menor riesgo en aparición de lesiones en los isquiosurales durante acciones de carrera explosiva en jugadores de fútbol masculinos.

La activación/inhibición neuromuscular que genera el sistema nervioso en la propia musculatura como en las adyacentes forma parte también del escenario lesional de los isquiosurales (Fyfe et al., 2013). En este sentido, la fuerza / activación subóptima de los músculos estabilizadores proximales puede provocar una ineficaz estabilidad dinámica de la musculatura de la pierna y por lo tanto una aplicación de fuerza comprometida, alterando los patrones de coordinación involucrados en acciones como correr o golpear la pelota y aumentando el riesgo en la ocurrencia de lesiones en isquiosurales (Borghuis et al., 2008).

Por otra parte, la rigidez de los flexores de la cadera y erectores espinales junto a una inhibición de los glúteos y los abdominales se asocia con una inclinación pélvica anterior, a una flexión de cadera y a un aumento de la lordosis lumbar en la carrera de velocidad (muy común en futbolistas), a través de la inhibición muscular recíproca y el dominio sinérgico posterior de los músculos isquiosurales frente al glúteo, siendo un posible factor de riesgo para la lesión isquiosural (Buckthorpe et al., 2019; de Hoyo et al., 2013; Freckleton & Pizzari, 2013; Gabbe et al., 2005; van Beijsterveldt et al., 2013). Ya que una inclinación pélvica anterior durante la carrera de velocidad provoca un sobre estiramiento sustancial en los músculos isquiosurales (aumento de la tensión) en la fase

de oscilación terminal limitando la expresión de su fuerza a longitudes musculares más largas y favoreciendo la aparición de la lesión (Sole et al., 2012). En este sentido, un adecuado control motor y una adecuada estabilidad de la cadera es importante en la prevención de las lesiones en isquiosurales, ya que es responsable de la transferencia de carga entre las extremidades inferiores y la columna (Borghuis et al., 2008; Hibbs et al., 2008). Por el contrario, una ineficiente coordinación intermuscular e intramuscular (contracción disinérgica de la musculatura) puede dar como resultado una expresión insuficiente de la fuerza funcional y aumentar el riesgo intrínseco de lesiones (Fyfe et al., 2013; Young, 2006).

- *La flexibilidad.*

El análisis de la relación entre el nivel de flexibilidad y el riesgo de lesión en los isquiosurales ha sido muy estudiado por la literatura, a la par que controvertido. Como se ha comentado anteriormente, uno de los mecanismos lesivos más destacados en esta musculatura es una sobre-elongación activa durante acciones de sprints, saltos, aceleraciones, etc. (Askling et al., 2008; Chumanov et al., 2011; Thelen et al., 2005; Wan et al., 2017a). En estas acciones se da una excesiva “*stiffness*” de los isquiosurales junto a un elevado tono de la musculatura extensora de rodilla, sometiendo a la inserción muscular a tensiones excesivas que pueden originar lesiones.

La naturaleza y la dinámica intermitente de las continuas acciones que se dan durante la práctica del fútbol (sprints cortos, aceleraciones, desaceleraciones etc.), junto al carácter tónico-postural de la musculatura isquiosural, contribuyen a aumentar la rigidez de esta musculatura y a reducir la flexibilidad, lo que supone un factor de riesgo intrínseco asociado a la aparición de lesiones (Small et al., 2009, 2010).

En los equipos de fútbol, cada vez es más común la evaluación del nivel de desarrollo de la flexibilidad de los isquiosurales como indicador del riesgo de sufrir una lesión (Henderson et al., 2010; Ribeiro-Alvares et al., 2020; Rolls & George, 2004; van Doormaal et al., 2017; Witvrouw et al., 2003). Diferentes estudios han demostrado que valores pobres de flexibilidad, sumados a una excesiva tensión muscular, supone uno de los principales factores intrínsecos modificables asociados al riesgo de lesión en isquiosurales (Bradley & Portas, 2007; Dadebo, 2004; Henderson et al., 2010; Witvrouw et al., 2003). En esta línea, Witvrouw et al. (2003) demostraron que los futbolistas profesionales (n=146) con mayor tensión en los músculos isquiosurales tenían un riesgo significativamente mayor de padecer una lesión en la región posterior de la pierna / musculo. Estos autores emplearon el test pasivo *PSLR*, y comprobaron que los jugadores lesionados durante la temporada habían registrado una flexibilidad significativamente menor en los músculos de los isquiosurales en comparación con el grupo de no lesionados. En esta línea, Bradley & Portas (2007) reportaron que los jugadores de fútbol que sufrieron una distensión muscular en los flexores de la cadera o los flexores de la rodilla tenían menores rangos de ROM activo en pretemporada. Del mismo modo, Henderson et al. (2010), en un estudio realizado con 36 jugadores profesionales, encontraron que, por cada grado de disminución del ROM en el test *ASLR*, las probabilidades de sufrir una lesión en el isquiosural aumentaron por 1.3.

A pesar de estos hallazgos, otros estudios no han encontrado que exista una relación significativa entre flexibilidad e incidencia lesional, ni en adultos (Engebretsen et al., 2010; van Doormaal et al., 2017) ni en jugadores de fútbol base (Rolls & George, 2004).

Parte de la controversia existente entre los resultados descritos por la literatura podría explicarse por factores relacionados con la validez interna y externa en los

procedimientos empleados para la evaluación de la flexibilidad (Stojanovic & Ostojic, 2011). Además, cabe resaltar que la gran mayoría de los estudios que han evaluado la relación entre el grado de extensibilidad en isquiosurales y la aparición de lesiones se han centrado en edades adultas y categorías profesionales (van Doormaal et al., 2017; Witvrouw et al., 2003), existiendo escasos estudios realizados en jugadores menores de 18 años. Por lo tanto, consideramos que se torna fundamental el planteamiento y desarrollo de nuevas investigaciones que usen protocolos más funcionales para medir la ROM activa, no solo en la población adulta (Henderson et al., 2010) sino también en futbolistas jóvenes durante las diferentes etapas de desarrollo.

Diversos estudios sobre este tema han reportado mayores valores de flexibilidad en las categorías de edad más adultas (Calahorra et al., 2012; Nikolaïdis, 2012), aunque estas investigaciones se han llevado a cabo utilizando el “*SAR test*”. Esta prueba ha sido criticada por estar altamente determinada por factores antropométricos y por carecer de especificidad para diferenciarla con la extensibilidad de la musculatura lumbo pélvica (Bennell et al., 1999; Muyor et al., 2014). En contraposición a estos hallazgos, Rolls & George (2004) mostraron una reducción en la extensibilidad de los isquiosurales con el aumento de la edad utilizando la prueba de extensión activa de rodilla (AKE, del inglés “*active knee extensión*”), la prueba de extensión activa de rodilla sentada (SKE, del inglés “*seated knee extensión*”), la prueba de elevación pasiva de la pierna recta (PSLR, del inglés “*pasive straight leg raise*”) y la prueba de extensión de rodilla pasiva (PKE, del inglés “*passive knee extensión*”).

En cuanto a los hallazgos de los estudios que han utilizado una prueba más funcional y específica de fútbol, como el “*ASLR test*” (Lloyd et al., 2015; Marques et al., 2017), parece ser que, a mayor edad del deportista, mayor grado de flexión activa de cadera. Cabe destacar que los estudios anteriormente citados se llevaron a cabo en

muestras de tamaño reducido, lo cual limita la interpretación y generalización de sus conclusiones.

Como podemos observar, la evidencia científica es controvertida en lo que se refiere a la relación existente entre la extensibilidad de los isquiosurales y el desarrollo evolutivo de los jugadores, lo que sugiere la necesidad de aportar nuevas piezas que permitan aumentar la evidencia disponible. Desde nuestro punto de vista consideramos que el empleo de muestras más numerosas de participantes y pruebas más funcionales pueden ser estrategias interesantes para lograr este objetivo.

Teniendo en cuenta que las acciones activas de elevación de la pierna recta son típicas en muchas situaciones funcionales en el fútbol y otros deportes, consideramos que la prueba *ASLR* podría ser uno de los procedimientos de evaluación más apropiados para medir la ROM activa. Estudios previos han mostrado que el resultado obtenido en este test no solo depende de la extensibilidad de los isquiosurales y de la acción excéntrica del antagonista, sino también de los músculos flexores de la cadera y del extensor de la rodilla (acción de fuerza del agonista) (Muyor & Arrabal, 2016).

Uno de los propósitos principales de la prueba *ASLR*, aunque de forma indirecta, es ver como el ROM de flexión de cadera se ve limitado por una parte por el nivel de tensión de los isquiosurales (Muyor et al., 2014) así como por la movilidad activa de la cadera, siempre y cuando se controle simultáneamente la estabilidad central y el control motor del tronco manteniendo la pelvis estable (Hu et al., 2012). Un patrón de activación adecuado y coordinado de los factores neuromusculares que intervienen en la acción hacen posible alcanzar un determinado ROM activo. Por lo tanto, la prueba *ASLR* parece ser una herramienta útil para estudiar la presencia de alteraciones en los patrones de movimiento que podrían causar lesiones en los músculos isquiosurales.

2.5.7. La fuerza, la flexibilidad y el control motor como factores claves en la prevención de lesiones de isquiosurales en fútbol.

Entre las distintas capacidades condicionales requeridas en el fútbol, la literatura sugiere que las carencias en los niveles de flexibilidad muscular suponen un factor de riesgo intrínseco importante en la aparición de lesiones musculares en jóvenes deportistas en general (Krivickas & Feinberg, 1996) y en futbolistas en particular (Ekstrand & Gillquist, 1982). Así, algunos estudios han relacionado el ROM activo de las articulaciones de las extremidades inferiores en general, y de la cadera en particular, con la incidencia de lesiones musculares en la parte media e inferior del cuerpo (Bradley & Portas, 2007). Otros estudios han asociado un ROM limitado de la cadera con dolor crónico a nivel del tendón del pubis (Verrall et al., 2007) y con una mayor propensión a la lesión de los isquiosurales (Henderson et al., 2010). Por otra parte se ha comprobado que la mejora de los rangos de movimientos activos en futbolistas es clave tanto para la mejora del rendimiento de las habilidades específicas (Ayala & Sainz, 2010; Vaeyens et al., 2006; Wong et al., 2010) como en la prevención de lesiones, tanto en adultos (Witvrouw et al., 2003) como en edades formativas (Fukuhara et al., 2010; Lehance et al., 2008; Zouita et al., 2016).

Por otra parte, y en relación a la fuerza, algunos estudios han demostrado que los déficits y los desequilibrios de fuerza muscular ipsilateral (ratio agonista-antagonista) son factores de riesgo etiológicos para la aparición de distensiones musculares (Greig, 2008), incluidas las que se producen en el grupo de músculos flexores de la cadera y extensores de cadera. En este sentido, el estudio de Zouita et al. (2016), realizado con futbolistas jóvenes, demostró que el entrenamiento programado de fuerza redujo significativamente la tasa de lesiones musculares.

Por último, pero no menos importante, en un deporte como el fútbol, la estabilidad y el control motor de la región de la cadera, gracias a la acción conjunta de los elementos musculares que implican un buen control neuromuscular dinámico y de las estructuras pasivas (huesos y tejidos blandos), proporcionan un factor preventivo de las lesiones del complejo musculoesquelético del tren inferior (Willson et al., 2005). En esta línea, varios estudios han demostrado que los déficits de control motor en estas regiones anatómicas pueden relacionarse con la aparición de lesiones en las extremidades inferiores, especialmente en la rodilla (Zazulak et al., 2007a, 2007b). En este sentido, (Hides & Stanton, 2014) observaron que un programa de entrenamiento orientado a la mejora del control motor es un elemento útil a considerar en las estrategias destinadas a reducir las lesiones de las extremidades inferiores.

La planificación adecuada de los objetivos, contenidos, medios y métodos de entrenamiento acordes a cada etapa del desarrollo optimizará el logro de los objetivos propios de cada una de ellas y posiblemente contribuya a reducir el riesgo de que el jugador sufra descompensaciones y desajustes artro-musculares que puedan desencadenar lesiones propias del futbolista (Alvarez et al., 2003; Malina, 2010; Marques et al., 2017; Stølen et al., 2005). Estas planificaciones deberían de tener en cuenta el trabajo preventivo que pueda compensar los déficits provocados por las demandas de las acciones de correr, cambiar de dirección y golpes que se dan en el fútbol, y que pueden crear descompensaciones y asimetrías en los niveles de fuerza, control motor y rangos de movimiento entre la pierna dominante y no dominante (Daneshjoo et al., 2013; Henderson et al., 2010; Rahnama et al., 2005).

Después de haber expuesto en base a la literatura previa el estado actual del conocimiento entorno a los factores que modulan la relación entre el rango de movimiento

y la prevalencia de lesiones en isquiosurales, en el siguiente apartado plantearemos los objetivos e hipótesis que se persiguen con la realización de la presente tesis doctoral.

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivos.

A continuación, se exponen los objetivos principales y los secundarios⁷ derivados de los anteriores:

1. Describir y comparar las diferencias de los valores de ROM durante la flexión activa de cadera entre la pierna dominante y no dominante.
2. Describir y comparar los valores de ROM durante la flexión activa de cadera de la pierna dominante y no dominante en función de...
 - 2.1. La categoría de edad (benjamín, alevín, infantil, cadete y juvenil).
 - 2.2. La demarcación preferente de los jugadores (porteros, defensas, centrocampistas y delanteros).
3. Describir y analizar la distribución de las lesiones que han tenido lugar en la musculatura isquiosural en función de...
 - 3.1. La categoría de edad (benjamín, alevín, infantil cadete y juvenil).
 - 3.2. La demarcación preferente de los jugadores (porteros, defensas, centrocampistas y delanteros).
 - 3.3. La naturaleza de la lesión (sobrecarga, contractura, distensión, rotura).
 - 3.4. Las causas de la lesión (acciones de carrera, acciones de salto, acciones de golpeo y otras acciones).
 - 3.5. El contexto donde se produce la lesión (entrenamiento vs. competición).

⁷ Todos los objetivos expuestos han de contextualizarse en el ámbito del fútbol base (jugadores de edades comprendidas entre los 8 y 18 años), pertenecientes a escuelas de fútbol de alto nivel.

4. Describir y comparar las diferencias en los valores de ROM durante la flexión activa de cadera entre jugadores lesionados y no lesionados.

3.2. Hipótesis del estudio.

A partir de cada uno de los objetivos descritos en el apartado anterior, y en base a la evidencia disponible hasta la fecha, nos planteamos las siguientes hipótesis de trabajo:

H₁ (Objetivo 1): Los hallazgos de estudios realizados anteriormente muestran que los jugadores de fútbol usan preferentemente una pierna de apoyo (no dominante) y otra de golpeo (dominante) para realizar la mayoría de las acciones y habilidades motoras propias del fútbol. Esto supone que la pierna de apoyo (no dominante) al trabajar en cadena cinética cerrada tiene una mayor rigidez muscular, concretamente en los flexores de rodilla, mientras que la pierna dominante, al repetir constantemente acciones de estiramiento dinámico durante los golpes, tiene una mayor capacidad de flexibilidad de los flexores de rodilla, una mayor fuerza en los flexores de cadera y un mayor control motor, variables que permiten alcanzar un mayor rango dinámico de movimiento de la articulación de la cadera. En base a ello se espera observar valores de ROM más altos en la pierna dominante que en la pierna no dominante.

H₂ (Objetivo 2.1): Parece estar ampliamente aceptado que la capacidad física de flexibilidad, concretamente de la musculatura isquiosural en un deporte como el fútbol tiende a disminuir con la edad. Por el contrario, existe evidencia científica suficiente en relación al efecto positivo del crecimiento y el desarrollo evolutivo

sobre la mejora de ciertas capacidades físicas en las edades de los participantes de nuestro estudio. El aumento progresivo de la masa magra, con la consiguiente mejora de la fuerza muscular, acompañado de un desarrollo de la coordinación inter e intramuscular, nos permiten hipotetizar que a medida que aumente la categoría de edad formativa, a pesar de la involución de la flexibilidad isquiosural, se observará un aumento del ROM activo tanto en la pierna dominante como en la no dominante.

H₃ (Objetivo 2.2): Dadas las exigencias de las acciones específicas propias del portero de fútbol, las cuales requieren mayores valores de amplitud de movimiento para desempeñar las funciones propias de esta demarcación (principalmente de evitación), junto a la existencia de una metodología de entrenamiento individual específico para mejorar estas capacidades, esperamos observar que los porteros alcancen mayores ROM tanto en la pierna dominante como en la no dominante que el resto de las demarcaciones.

H₄ (Objetivo 3.1): En línea con los hallazgos obtenidos por estudios previos realizados en poblaciones de jugadores adultos en los que se observa un aumento del riesgo de lesión con la edad del jugador, en nuestra investigación esperamos replicar este patrón en edades más tempranas y observar que a medida que aumente la categoría de edad formativa aumente el número de lesiones en la musculatura isquiosural.

H₅ (Objetivo 3.2): Teniendo en cuenta que las acciones causantes de las lesiones de isquiosurales suelen darse durante acciones de carrera a altas o muy altas

velocidades, sobre todo en condiciones de fatiga, y que el patrón de este tipo de acciones en los porteros es distinto al resto de las demarcaciones, esperamos observar una menor tasa lesional en esta musculatura en los porteros respecto al resto de las demarcaciones.

H₆ (Objetivo 3.3): En nuestro estudio esperamos replicar los hallazgos de estudios epidemiológicos anteriores que han analizado la gravedad de las lesiones en poblaciones similares, observando que la mayoría de las lesiones que se dan en estas edades formativas son fundamentalmente de gravedad moderada o leves (sobrecargas).

H₇ (Objetivo 3.4): En línea con los resultados obtenidos por estudios epidemiológicos anteriores realizados en futbolistas profesionales, los cuales sugieren que la musculatura isquiotibial es vulnerable a las lesiones en los instantes finales de la fase de "balanceo" durante acciones de carrera de alta velocidad, concretamente cuando se pasa de la fase excéntrica a concéntrica, esperamos replicar estos y encontrar que la mayoría de lesiones de isquiosurales se dan en acciones de carrera también en las etapas de formación.

H₈ (Objetivo 3.5): Al igual que ocurre en poblaciones adultas y profesionales, esperamos observar también en edades más tempranas que, dada la mayor intensidad de las acciones que se llevan a cabo, se dará una mayor proporción de lesiones en isquiosurales en el contexto de competición que en los entrenamientos.

H⁹ (Objetivo 4): Como se ha podido verificar en estudios previos realizados con jugadores de mayor edad y en categorías profesionales, un menor ROM en la flexión de cadera supone un mayor riesgo de lesión en isquiosurales. Sin embargo, son escasas las evidencias en relación al papel de la flexibilidad, la fuerza y el control motor sobre la tasa lesional en la musculatura isquiosural en jóvenes deportistas. En base a estos hallazgos esperamos encontrar una asociación positiva entre el ROM y el número de lesiones de isquiosurales en las categorías de mayor edad (cadetes y juveniles). Sin embargo, y dadas las características anatómo-fisiológicas propias de los jugadores más jóvenes, no esperamos observar dicha asociación en estos grupos de edad (benjamines, alevines e infantiles).

CAPÍTULO 4

MATERIAL Y MÉTODO

4.1. Diseño del estudio.

El presente estudio se basa en un diseño prospectivo y transversal para comparar el ROM de flexión de cadera en jugadores de fútbol de diferentes categorías de edad, junto con un análisis descriptivo, comparativo y epidemiológico detallado de las lesiones que han tenido lugar en los isquiosurales durante toda una temporada regular.

4.2. Muestra.

Para la realización de este estudio se contó con una muestra formada por jugadores de fútbol base cuya edad estaba comprendida entre los 8 y los 18 años (desde categoría benjamines hasta juveniles) pertenecientes a cinco escuelas de fútbol de alto nivel. Todos ellos estaban federados en la Federación de Fútbol de la Comunidad Valenciana (FFCV). La Tabla 7 muestra la distribución de los clubes participantes y el número de equipos y jugadores en cada una de las categorías de edad.

Tabla 7. Distribución de los participantes por Clubes, Equipos y Grupo de Edad.

<i>Club</i>	<i>Categoría de edad</i>									
	<i>Benjamines</i>		<i>Alevines</i>		<i>Infantiles</i>		<i>Cadetes</i>		<i>Juveniles</i>	
	Nº Equipos	Nº Jugadores	Nº Equipos	Nº Jugadores	Nº Equipos	Nº Jugadores	Nº Equipos	Nº Jugadores	Nº Equipos	Nº Jugadores
Villarreal CF	8	98	9	108	4	66	3	52	1	20
Valencia CF	4	52	6	69	4	55	3	57	2	45
Levante UD	4	42	4	42	3	53	3	49	2	28
San José UD	7	77	8	87	7	112	5	75	4	31
Alboraya UD	6	65	7	78	8	122	6	109	4	65
TOTAL	29	334	34	384	26	408	20	342	13	189

4.1.1.1. Criterios de inclusión.

Los criterios de inclusión a tener en cuenta para formar parte de la muestra objeto de estudio fueron los siguientes:

4.1.1.1.1. Criterios de inclusión de clubes.

- Clubes federados con equipos de fútbol que compitan en ligas de las diferentes categorías de formación objeto de estudio.

- Clubes que cuenten con los siguientes departamentos específicos dirigidos por responsables titulados: servicios médicos y preparación-readaptación físico-deportiva.

4.1.1.2. Criterios de inclusión de equipos.

- Equipos de los clubes que cumplan los criterios de inclusión indicados en el apartado anterior, con una frecuencia de entrenamiento de al menos 2 sesiones/semanales y al menos un partido – competición semanal.
- Equipos cuyos miembros del cuerpo técnico- o al menos el entrenador – estén en posesión de la titulación mínima requerida para entrenar en esa categoría (establecido por el Artículo 155 del reglamento general de la Real Federación Española de Fútbol, RFEF).

4.1.1.3. Criterios de inclusión de jugadores.

- Los jugadores se han de encontrar en buen estado de salud, tal y como mostraban sus reconocimientos médicos necesarios para la competición en la Federación Autonómica de Fútbol de la Comunidad Valenciana (libro 4, artículo 94) y de alta deportiva en el momento de las mediciones.
- Los jugadores que presenten la hoja de datos personales, el consentimiento informado firmado por el padre, madre o tutor, así como el asentimiento informado firmado por el participante.
- Los jugadores que no estén lesionados o hayan sufrido una lesión grave en miembros inferiores (ausencia del entrenamiento/competición durante más de un

mes) durante los 2 meses previos a las mediciones (datos revisados y confirmados por el personal médico de cada club).

- Los jugadores que no presenten molestias musculares, ni informen de ningún tipo de lesión por sobrecarga en la parte posterior de la pierna (isquiosurales) o la espalda (datos revisados y confirmados por el personal médico de cada club).

4.1.2. Criterios de exclusión.

Se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

4.1.2.1. Criterios de exclusión de equipos.

- Aquellos equipos que no aportasen la información relativa al registro de lesiones de forma completa y correcta durante toda la temporada.
- Aquellos equipos cuyo método de registro de lesiones no siguiese las indicaciones propuesta por el equipo investigador.

4.1.2.2. Criterios de exclusión de jugadores.

- Aquellos jugadores que no realizasen alguna prueba del protocolo o no lo realizasen correctamente.
- Aquellos jugadores que no alcanzaran al menos el 80% de la asistencia a entrenamientos y/o partidos de competición durante la temporada.

A partir de estos criterios de inclusión y exclusión se determinó que, de los 127 equipos disponibles inicialmente en el conjunto de los cinco clubes participantes, 3 de

ellos se excluyeran por no acudir a las mediciones en la fecha establecida y 2 más porque la información aportada estaba incompleta o la metodología aplicada en el registro de lesiones no fue correcta. Así pues, finalmente el estudio se llevó a cabo en un total de 122 equipos.

4.1.3. Muestra del estudio.

Finalmente, tras contactar e invitar a participar a los 5 clubes (127 equipos, 1827 jugadores) se obtuvo una participación del 96% (122 equipos), lo que supuso la inclusión de 1657 jóvenes futbolistas varones⁸ (edad media = 12.58 ± 2.65 años, rango= 7.88 - 18.79 años). La Tabla 8 muestra la distribución de los casos excluidos, así como los motivos por lo que procedió a dicha exclusión.

Tabla 8. Distribución de los jugadores excluidos en función del motivo de exclusión.

<i>Motivo</i>	<i>Número de casos</i>
No presentaron hoja de datos personales	31
No entregaron consentimiento informado	20
No acudieron a las mediciones	39
Se eliminaron por mediciones nulas	80

⁸ Para obtener la potencia estadística de nuestro estudio en base al tamaño de la muestra final, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando el programa G*Power 3. el cual mostró que con el presente tamaño de muestra (n = 1657) dividido en 5 grupos, el tamaño de efecto mínimo que se podría haber detectado para $\alpha = 0.05$, y $1 - \beta = 0.80$, para 5 grupos, es $f = 0.084$.

Los jugadores fueron agrupados según su categoría de edad en los siguientes grupos en función del año de nacimiento⁹:

- Benjamines: 2007-2008
- Alevines: 2005-2006
- Infantiles: 2003-2004
- Cadetes: 2001-2002
- Juveniles: 1998-1999-2000

En cuanto a la demarcación preferente de los jugadores en su equipo y en el contexto de competición se establecieron las siguientes: porteros, defensas, centrocampistas, delanteros. La Tabla 9 muestra la distribución de participantes en función de su demarcación específica.

⁹ La categoría de edad se estableció en función del año de nacimiento teniendo como referencia la temporada (año) competitiva en la que se llevaron a cabo las mediciones y el registro de lesiones (2016-2017).

Tabla 9. Distribución de los jugadores por los grupos de edad y demarcación preferente.

<i>Grupo Edad</i>	<i>n</i> <i>TOTAL</i>	<i>n</i> <i>Porteros</i>	<i>n</i> <i>Defensas</i>	<i>n</i> <i>Centrocampistas</i>	<i>n</i> <i>Delanteros</i>
<i>Benjamines</i>	334 (20,1%)	37 (11,08%)	130 (38,92%)	63 (18,86%)	104 (31,14%)
<i>Alevines</i>	384 (23,2%)	47 (12,24%)	132 (34,38%)	73 (19,01%)	132 (34,38%)
<i>Infantiles</i>	408 (24,6%)	29 (7,11%)	143 (35,05%)	96 (23,53%)	140 (34,31%)
<i>Cadetes</i>	342 (20,6%)	31 (9,06%)	114 (33,33%)	82 (23,98%)	115 (33,63%)
<i>Juveniles</i>	189 (11,4%)	22 (11,64%)	65 (35,45%)	42 (21,16%)	60 (31,75%)
TOTAL	1657	166 (10%)	584 (35,2%)	356 (21,4%)	551 (33,2%)

En cuanto a la dominancia lateral de miembro inferior, la Tabla 10 muestra la distribución de los jugadores por grupos de edad, comprobándose que el 75% (1248) de los jugadores eran diestros, seguidos de los zurdos 22,4% (372) y los ambidiestros 2,23% (37).

Tabla 10. Distribución de los jugadores en función de su dominancia lateral de miembro inferior en cada una de las categorías de formación.

<i>Grupo Edad</i>	<i>Diestro</i>	<i>Zurdo</i>	<i>Ambidiestro</i>
<i>Benjamines</i>	74,85%	21,86%	3,29%
<i>Alevines</i>	77,34%	21,35%	1,30%
<i>Infantiles</i>	75,98%	21,81%	2,21%
<i>Cadetes</i>	71,64%	25,73%	2,63%
<i>Juveniles</i>	77,25%	21,16%	1,59%
<i>Total</i>	75%	22,4%	2,23%

4.3. Aparatos, materiales e instrumentos.

4.3.1. Hoja de participante.

Previo a dar comienzo el estudio, se hizo una recopilación de los datos de cada jugador a través de un formulario entregado y cumplimentado por el responsable de cada equipo (Ver anexo 1) que incluía los siguientes datos:

- Fecha de nacimiento
- Historial de lesiones previas en la parte posterior de la pierna durante los 2 meses previos a las mediciones (datos revisados y confirmados por el personal médico de cada club).
- Demarcación táctica preferente: Definida de acuerdo con los criterios del primer entrenador de cada equipo, según la posición específica del jugador dentro del sistema de juego del equipo durante los partidos (portero, defensa, centrocampista, delantero).

- Pierna dominante: Definida como la pierna de golpeo elegida en caso de tener que lanzar un penalti.

4.3.2. Prueba de Elevación de la Pierna Recta (ASLR Test).

La evaluación del ROM en la flexión de cadera se llevó a cabo mediante un test de elevación activa de la pierna recta, originalmente denominado en inglés “*Active Straight Leg Raise*”. Este test permite evaluar el grado de extensibilidad activa de la musculatura isquiosural y de la movilidad activa de la cadera, mientras se observa simultáneamente la estabilidad lumbo pélvica y el control motor del tronco (Muyor et al., 2014). Este test fue seleccionado debido a que estudios previos indican su fiabilidad y validez en la medición del ROM activo, siendo además un test específico y útil para la evaluación en la edad escolar (Muyor et al., 2014). A continuación, se presenta el material necesario para llevarlo a cabo.

4.3.2.1. Cámara de video digital de alta velocidad y trípode.

Se utilizaron cámaras de video digitales de alta velocidad (240 fps) modelo Sony HXR-NX5U NXCAM (Sony Corp., Minato, Tokio, Japón), montadas sobre trípodes modelo Vanguard Espod CX 204AP.

4.3.2.2. Camilla acolchada de aluminio.

El participante ejecutaba el test tumbado en posición tendido supino sobre una camilla plegable de 186 x 66 de la marca Quirumed.

4.3.3. Software de análisis de movimiento.

El software de análisis de movimiento utilizado fue el Kinovea 0.8.15 para Windows. Este software de licencia abierta es una herramienta válida, confiable y de bajo coste para medir y analizar movimientos (ángulos y distancias) a través de cámaras de video (Balsalobre et al., 2014; Grigg et al., 2018; Moral et al., 2015). Adnan et al. (2018) confirmaron que supone una opción fiable, económica y portátil para la evaluación cinemática de las acciones del tronco y las extremidades inferiores en el plano sagital. Otros estudios como el de (Schurr et al., 2017) han indicado que es un método práctico tanto para evaluar la ROM en el plano sagital como para evaluar el riesgo de lesión en las extremidades inferiores.

4.3.4. Plantilla de registro de lesiones.

Para el diseño de la plantilla de registro de lesiones, inicialmente se procedió a revisar los principales cuestionarios empleados en estudios previos que han abordado el estudio de las lesiones en fútbol (Fuller et al., 2006; Woods et al., 2002) y más concretamente en lesiones de la musculatura isquiosural (Askling et al., 2003).

Posteriormente, y en base a una primera propuesta basada en la literatura, se concertaron diversas reuniones con los expertos de las áreas de prevención y tratamiento de lesiones (médicos, fisioterapeutas y responsables del acondicionamiento físico y readaptación) de los clubes que participaron en el estudio para revisarlos e incluir nuevas propuestas e ítems que estos consideraron relevantes.

En base a todas las propuestas anteriores, se definió el conjunto de categorías e ítems que conformarían la planilla específica de recogida de datos que permitiría registrar

las diferentes variables referentes a la ocurrencia de lesiones que se producían en los isquiosurales durante entrenamientos y partidos a lo largo de toda la temporada (Ver anexo 2).

Esta hoja de registro incluyó datos sobre:

- **La naturaleza de la lesión:** Distensión-elongación muscular, Contractura (no por golpe/trauma), Sobrecarga, y Rotura de fibras.
- **Demarcación del jugador:** Portero, Defensa, Centrocampista o Delantero.
- **Categoría de edad formativa:** Benjamín, Alevín, Infantil, Cadete, Juvenil.
- **Causa de la lesión:** Durante una acción de carrera (aceleración, frenada, cambio de dirección), durante una acción de salto (impulso o caída), durante una acción de golpeo de balón (pase, disparo / Chut), otras causas (sin haber sido causadas por una acción específica o donde los jugadores no pudieron confirmar cuándo comenzaron sus síntomas por primera vez).
- **Contexto de juego:** Durante entrenamientos o durante partidos/competición.

4.4. Procedimiento del estudio.

4.4.1. Descripción general del procedimiento.

El presente estudio se desarrolló en once fases que se han llevado a cabo en un periodo de 29 meses consecutivos. A continuación, en la Tabla 11, se exponen cada una de las fases de manera más detallada.

Tabla 11. Descripción de las fases del estudio.

<i>Fase</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Duración</i>	<i>Inicio</i>	<i>Fin</i>
1	Revisión documental	Durante todo el proceso	noviembre 2015	junio 2020
2	Diseño: metodología y procedimiento.	3 meses	abril 2016	junio 2016
3	Elaboración de documento para comité de ética	2 meses	abril 2016	mayo 2016
4	Puesta en contacto y presentación del estudio en las escuelas de fútbol (selección de la muestra de estudio).	3 meses	junio 2016	final agosto 2016
5	Familiarización del uso y manejo del material. Formación – Entrenamiento de los investigadores	2 semanas (2 sesiones de 2 horas /semana)	junio 2016	junio 2016
6	Estudio piloto y análisis de Fiabilidad Entre evaluadores	4 meses	junio 2016	septiembre 2016
7	Mediciones ASLR en toda la muestra	2 meses	septiembre 2016	octubre 2016
8	Registro de lesiones y análisis ROM mediante KINOVEA	10 meses	Octubre 2016	junio 2017
9	Tratamiento y análisis estadístico de los datos	2 meses	junio 2017	Final de julio 2017
10	Preparación del artículo y revisiones.	2 meses	agosto 2017	junio 2019 (aceptación del artículo)
11	Redacción y edición final de la presente Tesis Doctoral	6 meses	Julio 2019	junio 2020

Tras el diseño del estudio y definición de los criterios de inclusión / exclusión de clubes y deportistas, se estableció un primer contacto telefónico con los directores deportivos y/o coordinadores de etapa de cinco academias de fútbol de la Comunidad

Valenciana. Tres de ellas eran pertenecientes a clubes donde el primer equipo compite en la primera división española de fútbol “La Liga” (Valencia CF, Villarreal CF y Levante UD), mientras que las otras dos academias tienen sus equipos en las competiciones de más alto nivel en cada categoría de formación más alta de cada categoría (Alboraya UD y San José CF).

El motivo de recurrir a estas academias, aparte del nivel similar de rendimiento deportivo en las distintas competiciones, fue sobre todo por el nivel de organización estructural – organigrama- infraestructura y disponibilidad de recursos humanos de dichos clubes. En este sentido se tuvo en cuenta la existencia de profesionales cualificados y titulados en los puestos de responsabilidad encargados del diseño, desarrollo y la supervisión de los procesos de entrenamiento (Departamentos de Metodología y Preparación Física) así como en la prevención y tratamiento de lesiones (Departamentos de Medicina y Fisioterapia). Además, estos clubes tenían un convenio de colaboración con la UCV, por lo que existía una buena predisposición a colaborar en tareas de investigación.

Tras este primer contacto telefónico, se envió la información con los detalles básicos del estudio y las condiciones para la participación a los responsables de cada club (director deportivo o coordinador de academia), con los cuales se concertó una cita presencial donde se explicaron con más detalle todos los aspectos fundamentales del estudio, y tras la cual se obtuvo el consentimiento definitivo para la participación.

Posteriormente, se realizó una reunión con los responsables de los servicios médicos (médicos y fisioterapeutas) y expertos en metodología, preparación física y prevención- readaptación de lesiones de los clubes participantes. En esta reunión, la cual tuvo una duración aproximada de 45 minutos, se hizo una presentación donde se explicaron todos los detalles relativos a los motivos, objetivos y procedimientos del

estudio. Tras la exposición, y a petición de algunos responsables de los departamentos de medicina y metodología, se consensuó la manera más eficiente de proceder en la recogida de datos durante las diferentes etapas (protocolo para medir el ROM y registrar las lesiones) y se determinaron las variables objeto de estudio incluidas en la plantilla de registro de lesiones.

Tras esta reunión se confeccionó y se entregó a los responsables del estudio de cada equipo un dossier que incluía la siguiente documentación:

- Carta de presentación.
- Informe de confidencialidad y protección de datos personalizado (ver Anexo 3).
- Instrucciones explicativas de todo el procedimiento (cronograma, temporalización y protocolo del estudio).
- Planilla de registro / recogida de lesiones (ver Anexo 2).
- Hoja de datos del participante. (ver Anexo 1).
- Hoja de consentimiento y asentamiento informado del participante (ver Anexo 4).
- Hoja de información y consentimiento de la madre/padre o tutor (ver Anexo 5).

Antes de la recogida de datos, todos los futbolistas menores de edad y sus padres fueron convenientemente informados de aquellos aspectos básicos relativos al diseño y procedimiento del estudio, sus beneficios y riesgos. Para ello, los entrenadores de cada equipo entregaron a los padres / tutores las hojas de consentimiento y asentamiento informado (ver Anexo 4 y 5) para que fuese leída y, en caso de autorizar la participación, fue firmada voluntariamente por el participante y el padre, madre o tutor/a legal.

Todos los procedimientos del estudio fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Católica de Valencia (2017-2018-08) y de acuerdo con la versión modificada (2013) de la Declaración de Helsinki.

4.4.2. Procedimiento de medición del ROM en el test ASLR.

La evaluación del Rango de Movimiento (ROM) de flexión de cadera de la pierna dominante y no dominante fue realizada al comienzo del periodo competitivo regular (octubre – noviembre) de la temporada 2016-2017. El registro de las lesiones que se produjeron en la musculatura isquiosural se llevó a cabo durante toda la temporada 2016-2017 (octubre 2016- junio 2017).

El ROM activo máximo durante la flexión de cadera se midió para la pierna dominante y no dominante mediante el test *ASLR* (ver apartado 4.4.2.1). Todas las mediciones fueron filmadas en video antes de las sesiones de entrenamiento por 6 investigadores para su posterior edición y análisis.

4.4.2.1. Realización y filmación del test de flexión de cadera ASLR.

Todos los participantes fueron evaluados en el área médica de las instalaciones de entrenamiento de cada club, cuando ésta estaba disponible, o en su defecto en un vestuario especialmente habilitado para realizar las mediciones. Para ello los jugadores fueron citados 30 minutos antes de la sesión de entrenamiento. Las mediciones fueron realizadas entre las 17:00 y las 20:00 h, en condiciones de temperatura similares (rango 16°C- 23°C) y con ropa cómoda que no limitase el movimiento de flexión de cadera (pantalón corto). Siguiendo las recomendaciones establecidas por Muyor & Arrabal (2016), y con el objetivo de evitar cualquier efecto de fatiga ni pre-activación que pudiese modular el resultado del test, no se realizó ningún tipo de calentamiento ni estiramiento previo al test. Además, los participantes, los preparadores físicos y los entrenadores principales

recibieron instrucciones para que los participantes no realizaran ejercicios físicos intensos durante las 48 h previas a la sesión de evaluación. Para controlar mejor este hecho, las mediciones se llevaron a cabo en la primera sesión de entrenamiento del microciclo, ubicado al menos 48 h después de la última sesión de entrenamiento o el partido de competición anterior.

Antes comenzar los test, el experimentador indicaba frente a la cámara (la cual, como se puede ver en la Figura 30, ubicada en paralelo al plano sagital del movimiento a una distancia de aproximadamente 3 metros) el nombre del club, grupo de edad y letra del equipo que se iba a filmar. Seguidamente, cada jugador que iba a ser evaluado, según el orden de llegada al lugar de medición, se situaba frente a la cámara y decía su nombre y apellidos, lo que facilitaba el registro y anotación posterior de los datos de las mediciones. Tras ello, el jugador se tumbaba sobre la camilla en posición de decúbito supino con ambas extremidades inferiores extendidas, ambas manos sobre el pecho y la cadera en posición neutra (ver Figura 30). Seguidamente, y con el objetivo de que durante el proceso de edición del vídeo se pudiera insertar los marcadores virtuales y determinar los puntos de referencia que definiría el ángulo/vértice de la articulación de la cadera), el experimentador, mediante palpación, localizaba el trocánter mayor. Una vez localizado, el examinador colocaba y mantenía su dedo índice sobre dicho punto anatómico durante 3 segundos mientras el deportista realizaba un movimiento lento de flexión de cadera. Este procedimiento se repitió previamente a la realización de la prueba en ambas piernas. Cabe resaltar que en estudios previos como el de Mier (2011), era el participante el que señalaba con su propio dedo la localización del trocánter. En el presente estudio, debido a la corta edad de gran parte de la muestra, y con el fin de evitar errores y asegurar una mayor precisión en la localización, se decidió que dicha localización fuera llevada a cabo por el propio examinador. Además, este método de localización del trocánter mayor

resultó muy práctico y permitió evitar el error resultante de la colocación de un marcador sobre la ropa del participante, ya que, aunque el pantalón se moviera durante la elevación de la pierna, permitía situar siempre el vértice del ángulo, evitando el error de la estimación visual del eje de rotación de la articulación.

Tras el proceso de localización del trocánter, el examinador (ubicado en el lado opuesto de la cámara) colocaba una mano sobre el muslo de la pierna contraria a la evaluada (permitiendo su fijación) mientras que la otra mano se situaba debajo de la columna lumbar (permitiendo detectar la inclinación posterior de la pelvis, retroversión) (Muyor et al., 2014) (ver Figura 30).



Figura 30. Posición inicial en la medición del ROM en el test ASLR.

Una vez fijada la posición anterior, se le pedía al participante que, manteniendo ambas piernas totalmente extendidas, realizase una flexión de la cadera y elevase la pierna libre de forma lenta y controlada (elevación mediante movimiento activo conducido realizado durante unos 3 segundos). La pierna contraria permanecía totalmente extendida y bloqueada por la acción del examinador. El tobillo de la pierna elevada se debía de mantener en una posición neutra durante la ejecución del test para no provocar su flexión

dorsal y así minimizar la tensión de los músculos gastrocnemios (Ayala et al., 2012) (ver Figura 31).

La posición final se determinó cuando:

- a) El participante informó de una excesiva tensión en la parte posterior de la pierna y no pudo continuar con la acción de elevación, o...
- b) El examinador sintió que la pelvis comenzaba a bascular posteriormente (inicio palpable de la inclinación de la pelvis).

Se alentó a los participantes a mantener esta posición final durante 3 segundos, determinando así el mayor ROM mantenido de flexión de cadera (ver Figura 31).



Figura 31. Posición final en la medición del ROM en el test ASLR.

El participante repitió el test dos veces con cada pierna con intervalos de descanso de 10 segundos entre ellos. El orden en el que se midió cada pierna (derecha o izquierda) fue contrabalanceado entre participantes. Este procedimiento nos permitió también minimizar la aparición de la fatiga generada por la propia ejecución. Primero se grabó el test con una pierna y luego los participantes se giraban en la camilla hacia el otro lado y se repetía el mismo procedimiento con la otra pierna.

La duración total del test fue de aproximadamente 1 minuto por jugador y 20-30 minutos por equipo, siendo este el tiempo limitado disponible para la recopilación de datos tal y como se acordado con los responsables de cada club en la reunión detalla en el punto 4.4.1.

4.4.2.2. Protocolo de grabación del test.

Todo el procedimiento fue grabado siguiendo las recomendaciones del estudios previos (Moral et al., 2015) (ver Figura 32). Así, la posición de la cámara permitía que las articulaciones de cadera y tobillo (desde zona lumbar- sacroilíaca a la punta del pie) estuvieran centradas en la imagen (ver Figura 31). El objetivo de la cámara y la superficie de la camilla se ajustaron a la misma distancia del suelo. La filmación de video fue continua, y posteriormente, en un proceso de edición *offline*, se midió el máximo grado de flexión de cadera mediante las herramientas disponibles en el software Kinovea.



Figura 32. Disposición del material durante la sesión de medición.

4.4.2.3. Determinación del ROM en el test ASLR mediante Kinovea.

Las grabaciones realizadas sobre las acciones de flexión de cadera de cada participante fueron editadas y analizadas utilizando el software Kinovea 0.8.15 para Windows (ver justificación de la elección de esta herramienta en el punto 4.3.3).

Dado que el objetivo era detectar el mayor ángulo de flexión mantenida de la cadera (posición estática), para facilitar el tratamiento y análisis de las imágenes, así como la estimación precisa del ROM, inicialmente se empleó el software Kinovea para reducir la frecuencia de muestreo de video desde los 240 fps originales a 60 fps. Tras este procedimiento pasaríamos a tener una imagen- campo cada 16 ms, lo que nos daría una frecuencia suficiente para los propósitos de nuestra investigación.

Para determinar el máximo ROM de flexión de cadera, se fue pasando manualmente campo por campo hasta determinar visualmente el ángulo en el que se mantenía la máxima elevación de la pierna durante al menos 10 fotogramas- campos (160 ms). En ese momento, y siguiendo los criterios indicados por Grigg et al. (2018), se procedió a la colocación de los marcadores virtuales que permitirían el cálculo del ROM en la imagen estática sobre la que se mantenía esa máxima angulación. El eje de rotación se ubicó en el trocánter mayor del fémur (teniendo como referencia el punto de palpación del examinador, según el procedimiento descrito en el subapartado anterior 4.4.2.1, ubicando el segundo marcador que definiría el brazo móvil del ángulo en el maléolo peroneo del tobillo de la pierna elevada. Para aumentar la precisión en la localización de dicho eje de rotación, se empleó la función de Zoom existente en el software. Posteriormente se empleó la herramienta de ángulo para determinar el ROM en la posición de máxima amplitud. El brazo – segmento móvil del ángulo se alineó desde el eje de rotación (trocánter de la cadera) hasta el maléolo peroneo externo del tobillo,

mientras que el brazo fijo se ubicó desde el trocánter, sobre la pierna extendida fijada por el experimentador, y paralelo a la superficie de la camilla (ver Figura 33). El mayor valor de ROM durante las dos repeticiones del *ASLR* en cada extremidad fue anotado para su posterior análisis y tratamiento estadístico.

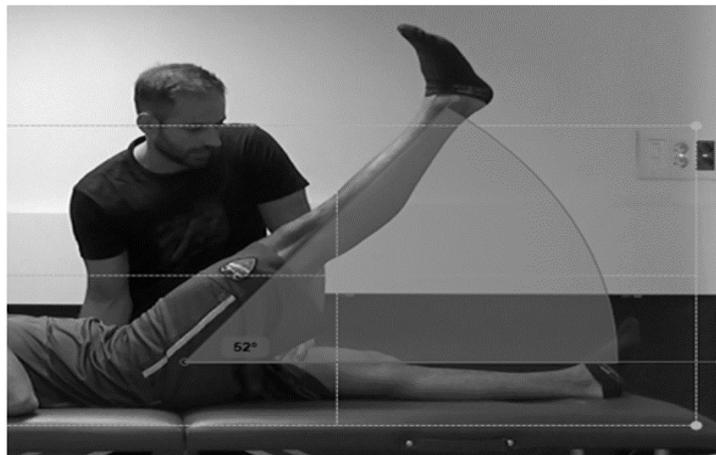


Figura 33. Determinación del ROM en la posición de máxima flexión en el test ASLR.

4.4.3. Formación – entrenamiento de los investigadores.

Para aumentar la precisión, fiabilidad y validez del proceso de medición, y dado el elevado número de mediciones a realizar, consideramos que era preceptivo realizar un proceso de formación- entrenamiento de los evaluadores – miembros (seis) del grupo de investigación que participarían del proceso de filmación y análisis de los test.

Este proceso de entrenamiento se llevó a cabo durante dos semanas (a razón de dos sesiones semanales de 2 horas de duración cada una). Durante estas sesiones se instruyó a los evaluadores en los procedimientos a seguir tanto en los protocolos de filmación y ejecución de los test *ASLR* (ver Anexo 6) como en la etapa posterior de edición y análisis de video mediante el Kinovea (ambos descritos en apartados anteriores

4.4.2.1 y 4.4.2.3). Durante la fase de entrenamiento, la ejecución de los distintos procedimientos llevados a cabo por parte de cada miembro del equipo fue supervisada y evaluada por el investigador principal.

Tras la finalización del proceso de formación, se llevó a cabo un análisis de fiabilidad y correlación inter-evaluadores con el objetivo de calcular el índice de confiabilidad y variabilidad entre las medidas de los 6 investigadores, mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI) (Shrout & Fleiss, 1979). Para ello se realizó un estudio piloto con una muestra aleatoria de jugadores pertenecientes a un equipo – club que no formaría parte del estudio final. En este estudio piloto se llevaron a cabo los protocolos y procedimientos descritos anteriormente, y todos los miembros del equipo de investigación analizaron los datos de la misma muestra. Una vez obtenidos los valores de ROM de cada uno de los participantes por cada observador/evaluador, se determinaron los valores promedio, la desviación estándar y la correlación inter-evaluadores para realizar el análisis de la varianza (ANOVA) con medidas repetidas y posteriormente calcular el coeficiente de correlación intraclase (CCI). Estos niveles de confiabilidad se mostrarán posteriormente en la sección de resultados preliminares (ver apartado 5.1.2).

4.4.4. Procedimiento de diagnóstico y registro de las lesiones de los isquiosurales durante la temporada.

Como se ha explicado anteriormente, tras la reunión con los responsables de los clubes participantes, se diseñó una planilla para registrar las lesiones en los isquiosurales que apareciesen durante el periodo estudiado (ver el apartado 4.3.4 y Anexo 2). Esta planilla fue entregada en formato papel y enviada por correo electrónico tanto al responsable asignado de cada equipo (entrenador y/o preparador físico) como al

responsable de los servicios médicos y/o fisioterapeuta de cada uno de los clubes participantes. Como se indicó en las reuniones previas, era preceptivo y obligatorio que dicha planilla estuviese disponible en su versión impresa en cada una de las sesiones de entrenamiento y/o partidos de competición incluidas en el intervalo de tiempo en el que se llevó a cabo el estudio. De este modo, cada lesión / molestia / problema (estructural y/o funcional) a nivel de la musculatura isquiosural que fuera reportada por el jugador sería diagnosticada y clasificada por parte del personal médico del club de acuerdo con la declaración de consenso de Fuller et al. (2006). "*Cualquier molestia física sobre un jugador (en este caso que afecte en la parte posterior del muslo), resultante de un partido o sesión de entrenamiento, independientemente de la necesidad de atención médica o del tiempo perdido de la actividad deportiva*" (p.193). Siguiendo el protocolo descrito por estos mismos autores, los diagnósticos de las lesiones se basaron en la definición del mecanismo típico de la lesión y los hallazgos clínicos de dolor local y pérdida de la función. En caso de duda clínica o falta de consenso en la definición del grado de lesión, y de acuerdo con las recomendaciones de Fuller et al. (2006), en aquellos casos que fuera necesario, se realizaría una resonancia magnética para concretar los diagnósticos diferenciales. Una vez concretado dicho diagnóstico por parte del responsable de los servicios médicos correspondientes, el responsable asignado de cada equipo debía cumplimentar toda la información incluida en la planilla, así como enviarlos en formato digital al responsable del equipo de investigación con una frecuencia bimestral (20 de septiembre, 20 de noviembre, 20 de enero, 20 de marzo, 20 de mayo, 20 de junio). En caso de omisión o error en algún dato que dificultase la definición precisa de las lesiones registradas, el investigador contactaba con el responsable de la toma de datos del equipo implicado y se procedía a la cumplimentación de todos los campos de la planilla de manera apropiada. De este modo quedaron registrados todos los parámetros que

permitirían definir las variables relacionadas con las lesiones ocurridas en isquiosurales en el periodo comprendido desde octubre del 2016 a junio del 2017 y que son objeto de estudio en la presente tesis doctoral.

4.5. Variables del estudio.

En nuestro estudio, y conforme a los objetivos planteados, se han definido las siguientes variables.

4.5.1. Variables dependientes.

- Máximo grado (°) de flexión de cadera (ROM) de la pierna dominante y la no dominante obtenido mediante el test *ASLR*. Variable cuantitativa.
- Recuento de nº de lesiones en isquiosurales. Variable cuantitativa.

4.5.2. Variables independientes.

En lo relativo al análisis de del ROM se establecieron las siguientes variables independientes.

- Dominancia Lateral: Variable cualitativa dicotómica, definida como la pierna de golpeo elegido a la hora de lanzar un penalti (Derercha / Izquierda) que se codificarían posteriormente en Dominante vs. No Dominante.
- Categoría de edad: Variable cualitativa politómica con los siguientes niveles, en función del año de nacimiento para el campeonato de la temporada 2016-2017, Benjamines (9-10 años), alevines (10-11 años), infantiles (12-13 años), cadetes (14-15 años) y juveniles (16-17-18 años)

- Demarcación preferente de los jugadores en el eje longitudinal del campo:
Variable cualitativa politómica considerando las siguientes: portero, defensa, centrocampista y delantero.

Para analizar la incidencia de las lesiones de isquiosurales se definieron las siguientes variables independientes.

- Categoría-grupos de edad (benjamín, alevín, infantil, cadete, juvenil)
- Naturaleza (sobrecarga muscular, contractura muscular, distensión muscular, rotura muscular)
- Demarcación preferente de los jugadores (portero, defensa, centrocampista, delantero)
- Causas (en golpeo, en acción de carrera, en acciones salto u otras)
- Contexto de juego (partido o entrenamiento).

4.6. Tratamiento y análisis estadístico.

Previamente a realizar nuestros análisis estadísticos, la distribución normal de los datos fue comprobada a través de la prueba Kolomogorov-Smirnov ($ps > 0,05$).

Para analizar las diferencias de ROM de flexión de la cadera entre la pierna dominante y la no dominante se utilizaron pruebas-*t* para muestras dependientes.

Para estudiar las diferencias en el ROM de flexión de la cadera en función de las distintas categorías de formación y la demarcación preferente se emplearon análisis de varianza (ANOVAS) de un factor.

Para investigar las diferencias en la distribución de las lesiones de los isquiosurales en función de la categoría de formación, la demarcación preferente de los

jugadores, la naturaleza de la lesión, la causa de la lesión y el contexto en el que se produjo, se utilizaron análisis Chi-Cuadrado (χ^2).

Para comparar las diferencias de ROM de flexión de cadera entre los jugadores lesionados respecto a los no lesionados se plantearon pruebas-*t* para muestras independientes. Dado el escaso número de jugadores lesionados, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado con fijación proporcional con los grupos con la mayor incidencia de lesiones (cadetes y juveniles).

La magnitud de los tamaños del efecto se calculó utilizando la *d* de Cohen para el análisis de las pruebas-*t* (tanto para muestras dependientes como independientes), la *V* de Cramer para la prueba de Chi-cuadrado (χ^2) y el Eta cuadrado parcial (η_p^2) para ANOVAS.

El nivel de significación estadística se estableció en $p < 0,05$. En los casos de que se encontraran efectos significativos principales en variables con más de 2 niveles, se realizaron pruebas *post hoc* (pruebas-*t* para muestras independientes o pareadas, según el análisis) y se corrigieron usando el método Bonferroni para comparaciones múltiples (resultante de dividir el valor 0,05 por el número de comparaciones).

Los resultados descriptivos se reportaron empleando los valores promedio \pm desviación estándar (SD), así como los intervalos de confianza (IC) del 95%.

Todos los análisis estadísticos se analizaron utilizando el software Statistica para Windows (versión 8; StatSoft Inc, Tulsa, OK).

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1. Análisis preliminares.

5.1.1. Comprobación de la Normalidad y Homogeneidad de Varianza.

Inicialmente verificamos el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza en las distintas variables. La normalidad en la distribución de todas las variables fue verificada con el test de Kolmogorov- Smirnov (todas las $ps > 0,05$). La esfericidad (homogeneidad de las varianzas) fue examinada mediante el test de Mauchly (todas las $ps > 0,05$).

5.1.2. Validez y confiabilidad Inter-evaluadores del test ASLR.

Para la interpretación de la consistencia en las mediciones de los evaluadores se utilizaron los valores propuestos por Landis & Koch (1977): 0= Pobre; 0,01 – 0,20= Leve; 0,21 – 0,40= Regular; 0,41 – 0,60= Moderado; 0,61 – 0,80= Substancial; y 0,81 – 1= Casi perfecto. El ICC reportado mostró valores muy altos de confiabilidad entre evaluadores (ICC = 0,994; IC 95% = 0,991 – 0,999). Las diferencias absolutas entre los seis evaluadores oscilaron entre los 0,65° y los 4,7° ($\bar{X} = 2^\circ$). Estos resultados permiten afirmar que la formación y proceso de evaluación realizada por los observadores dotaron de una alta fiabilidad y consistencia interna a nuestro proceso de recogida y análisis de datos.

5.2. Rango de movimiento en flexores de cadera.

A continuación, se presentan los resultados descriptivos del ROM observado durante la flexión de la cadera en función de la dominancia de la extremidad inferior, agrupados por la categoría de edad (Tabla 12), y la demarcación preferente (Tabla 13) de los jugadores.

Tabla 12. Promedio \pm SD del ROM observado en pierna dominante (D) y no dominante (ND) en función del grupo de edad.

<i>Grupo Edad</i>	<i>D (°)</i>	<i>ND (°)</i>	<i>Promedio (°)</i>
<i>Benjamines</i>	57,85 \pm 8,03*	56,43 \pm 7,88*	57,14 \pm 8,19
<i>Alevines</i>	56,01 \pm 8,40*	54,49 \pm 8,44*	55,25 \pm 8,26
<i>Infantiles</i>	54,05 \pm 8,14*	52,90 \pm 8,33*	3,47 \pm 8,24
<i>Cadetes</i>	56,60 \pm 8,75*	55,25 \pm 8,64*	55,93 \pm 8,27
<i>Juveniles</i>	57,82 \pm 9,67*	56,69 \pm 9,78*	57,25 \pm 8,25
<i>TOTAL</i>	56,23\pm8,60*	54,90\pm8,61*	55,57\pm8,27

* $p < 0.001$: Indica diferencias significativas en ROM entre la pierna dominante y la no dominante.

Tabla 13. Promedio \pm SD del ROM observado en pierna dominante (D) y no dominante (ND) en función de la demarcación preferente del jugador.

	D (°)	ND (°)	Promedio (°)
Porteros	56,52 \pm 9,25	55,81 \pm 8,56	56,17 \pm 8,6
Defensas	56,08 \pm 8,39	54,83 \pm 8,53	55,45 \pm 8,14
Centrocampistas	55,89 \pm 8,26	54,55 \pm 8,41	55,22 \pm 7,94
Delanteros	56,52 \pm 8,85	54,92 \pm 8,83	55,72 \pm 8,51

Como se puede observar de forma gráfica en la Figura 34, los resultados de las pruebas-*t* para muestras dependientes muestran valores de ROM más altos en la pierna dominante (56,23 \pm 8,60, IC 95% = 56,64 – 55,81) que en la pierna no dominante (54,90 \pm 8,61, IC 95% = 55,31 – 54,48) teniendo en cuenta todas las categorías de edad (t (1656) = 11,32, $p < 0.001$, $d = 0,27$).

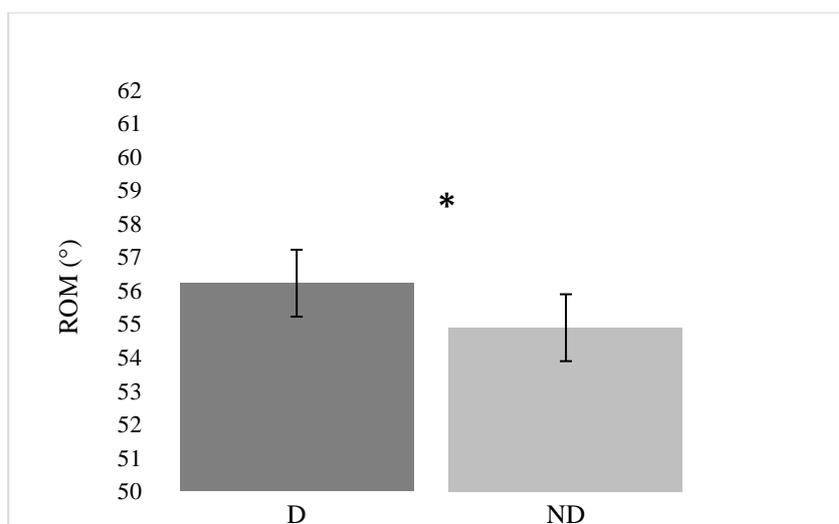


Figura 34. Promedios de ROM de la pierna dominante (D) y no dominante (ND). Las barras de error representan el error estándar. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en ROM entre la pierna dominante y la no dominante.

Los resultados de los análisis de varianza realizados revelaron diferencias significativas en el ROM en función del grupo de edad, tanto cuando se realizó el tratamiento conjunto de los datos de ambas piernas ($F(4, 1652) = 12,152, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,029$) (ver Figura 6), como cuando se realizaron los análisis por separado en la pierna dominante ($F(4, 1652) = 11,643, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,029$) como en la no dominante ($F(4, 1652) = 10,806, p < 0,001, \eta_p^2 = 0,029$) (ver Figura 35).

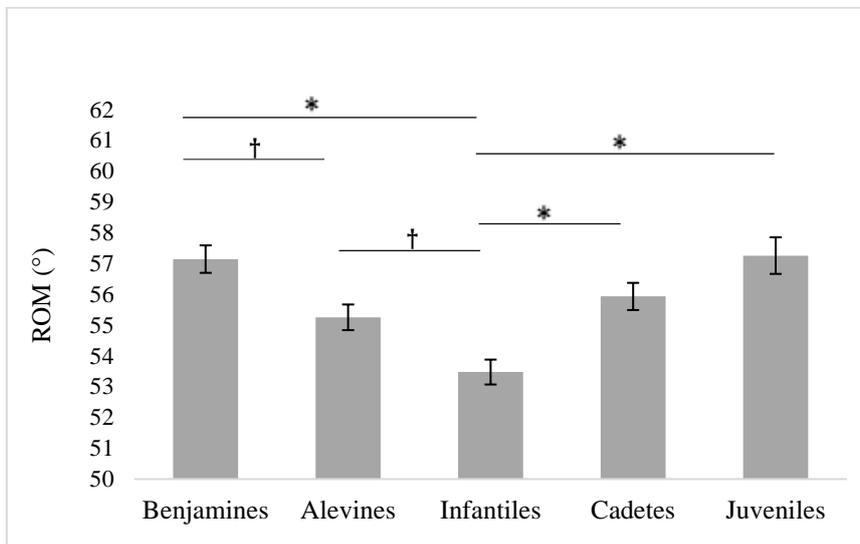


Figura 35. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna dominante y no dominante) en los diferentes grupos de edad. Las barras de error representan el error estándar. * $p < 0,001$ y † $p < 0,005$ indican diferencias significativas en ROM entre los distintos grupos de edad.

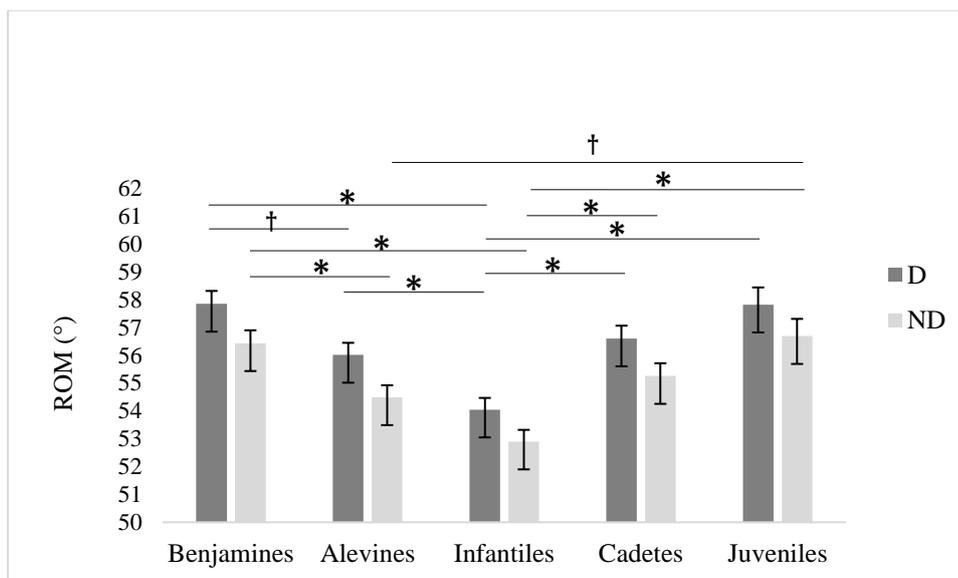


Figura 36. Promedios de ROM de la pierna dominante (D) y no dominante (ND) en los diferentes grupos de edad. Las barras de error representan el error estándar. * $p < 0,001$ y † $p < 0,005$ indican diferencias significativas en ROM entre los distintos grupos de edad.

Las prueba-*t* para muestras independientes mostraron una disminución del ROM (promediado entre las piernas dominante y no dominante) desde la categoría benjamín a infantil (de benjamín a alevín, $- 1,89^\circ$ ($t(716) = 3,23$, $p < 0,005$, $d = 0,23$); de benjamín a infantil, $- 3,66^\circ$ ($t(740) = 6,45$, $p < 0,001$, $d = 0,45$), y de alevín a infantil, $- 1,77^\circ$ ($t(790) = 3,11$, $p < 0,005$, $d = 0,22$)).

Sin embargo, uno de los hallazgos más resaltables de nuestro estudio, es que esta tendencia cambio justo después de la etapa de infantil, observándose un aumento significativo en los valores de ROM de flexión de la cadera de la categoría infantil a juvenil (de infantil a cadete, $+ 2,45^\circ$ ($t(748) = 4,11$, $p < 0,001$, $d = 0,30$); de infantil a juvenil, $+ 3,78^\circ$ ($t(595) = 5,09$, $p < 0,001$, $d = 0,46$) y de cadete a juvenil, $+ 1,32^\circ$, aunque en este caso, el aumento no fue significativo ($t(529) = 1,66$, $p = 0,096$)). Curiosamente, y tras aplicar las correcciones Bonferroni, no se hallaron diferencias significativas en el ROM entre los jugadores más jóvenes y los de mayor edad (benjamín - juvenil, 0° ($t(521)$

= 0,15, $p = 0,87$); benjamín - cadete, $1,21^\circ$ ($t(674) = 1,99$, $p = 0,04$); alevín -juvenil, 2° ($t(571) = 2,62$, $p = 0,009$), o alevín - cadete, $0,56^\circ$ ($t(724) = 1,10$, $p = 0,27$) (ver Figura 36).

Respecto a los análisis por separado de los datos medidos en la pierna dominante y en la no dominante, nuestros resultados van en la misma línea. Así pues se observó una disminución del ROM desde la categoría de formación benjamín a infantil (de benjamín a alevín, en la pierna dominante $-1,84^\circ$ ($t(716) = 2,97$, $p < 0,002$, $d = 0,22$) y en la pierna no dominante $-1,94^\circ$ ($t(716) = 3,17$, $p < 0,001$, $d = 0,23$); de benjamín a infantil, en la pierna dominante $-3,8^\circ$ ($t(740) = 6,36$, $p < 0,001$, $d = 0,46$) y en la no dominante $-3,53^\circ$ ($t(740) = 5,88$, $p < 0,001$, $d = 0,43$); y de alevín a infantil, en la pierna dominante $-1,96^\circ$ ($t(790) = 3,34$, $p < 0,001$, $d = 0,23$) y en la no dominante $-1,59^\circ$ ($t(790) = 2,66$, $p < 0,007$, $d = 0,18$).

Esta tendencia descendente, al igual que en el ROM promedio de ambas piernas, también cambió justo después de la etapa de infantil, tanto en la pierna dominante como en la no dominante, observándose un aumento significativo de la categoría infantil a juvenil (de infantil a cadete, en la pierna dominante $+2^\circ$ ($t(748) = 4,13$, $p < 0,001$, $d = 0,30$) y en la no dominante $+2,35^\circ$ ($t(748) = 3,7$, $p < 0,001$, $d = 0,27$); de infantil a juvenil, en la pierna dominante $+3,77^\circ$ ($t(595) = 4,95$, $p < 0,001$, $d = 0,43$) y en la no dominante $+3,79^\circ$ ($t(595) = 4,88$, $p < 0,001$, $d = 0,42$); y de cadete a juvenil, $+1,22^\circ$ en la dominante y $+1,44$ en la no dominante, aunque en este caso el aumento tampoco fue significativo ($ps > 0,08$).

Finalmente, y en la línea de lo observado cuando se analizaron los datos de ambas piernas conjuntamente, tampoco se encontraron diferencias significativas en el ROM de la pierna dominante y la no dominante entre los jugadores más jóvenes y mayores (benjamín - juvenil, en la pierna dominante 0° ($t(521) = 0,03$, $p = 0,97$), en la pierna no dominante $0,26^\circ$ ($t(521) = 0,3$, $p = 0,74$); benjamín - cadete, en la pierna dominante $1,25^\circ$

($t(674) = 1,92, p = 0,05$), en la pierna no dominante $1,18^\circ$ ($t(674) = 1,85, p = 0,06$); alevín - cadete, en la pierna dominante $0,59^\circ$ ($t(724) = 0,9, p = 0,35$) y en la pierna no dominante $0,76^\circ$ ($t(724) = 1,20, p = 0,22$); alevín - juvenil, en la pierna dominante $1,81$ ($t(571) = 2,29, p = 0,02$), en cambio, en la pierna no dominante, si se encontraron diferencias significativas $2,2^\circ$ ($t(571) = 2,78, p = 0,005, d = 0,24$) (ver Figura 7).

No se encontraron diferencias en el ROM debidas a la demarcación preferente ocupada por el jugador, tanto al considerar ambas piernas, como cuando se hicieron análisis por separado de la pierna dominante y no dominante (todas las $ps > 0,478$) (Ver Figuras 37 y 38).

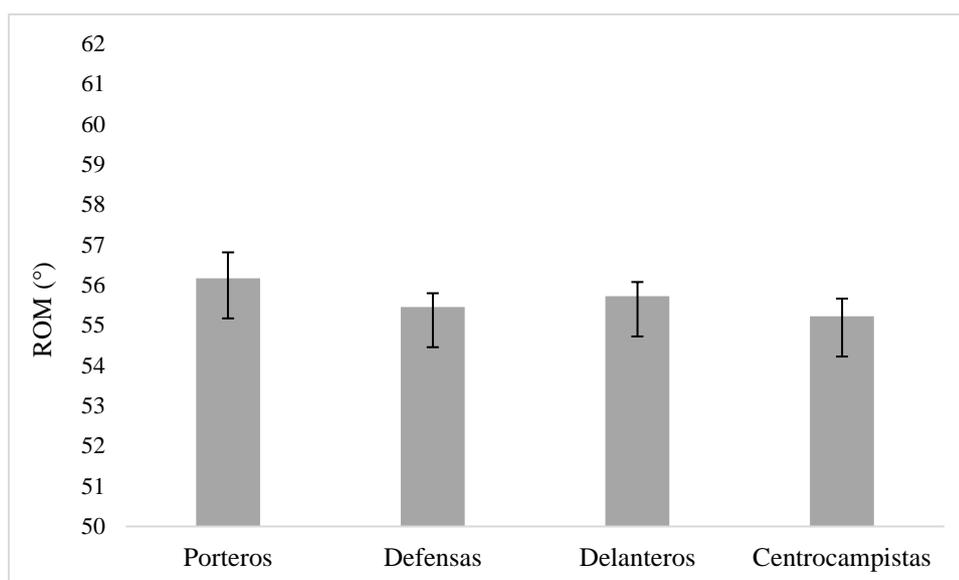


Figura 37. Promedios de ROM según las diferentes demarcaciones. Las barras de error representan el error estándar.

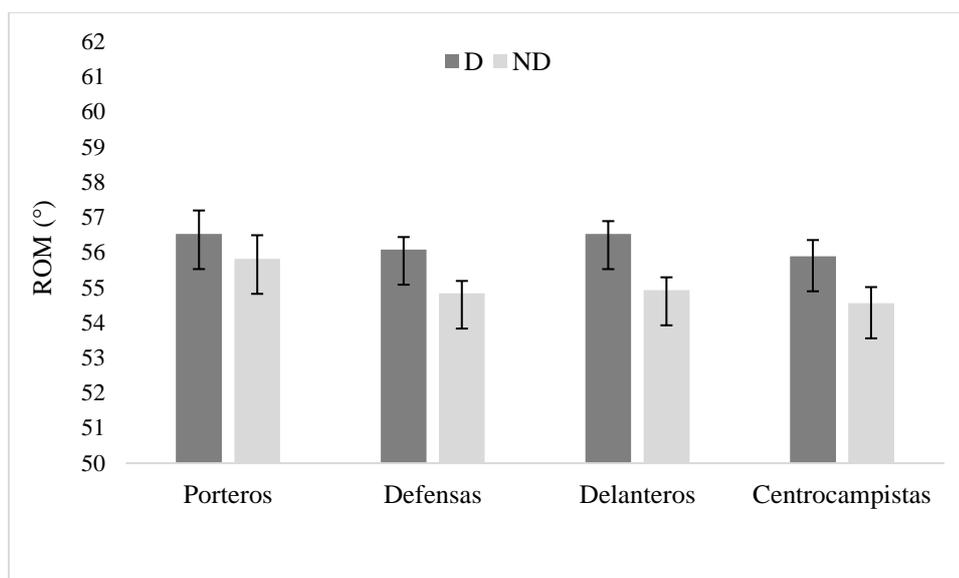


Figura 38. Promedios de ROM de la pierna dominante (D) y no dominante (ND) según las diferentes demarcaciones. Las barras de error representan el error estándar.

5.3. Lesiones en la musculatura isquiosural.

Durante el periodo de seguimiento se documentaron un total de noventa y siete lesiones en los 1657 jugadores que conformaron la muestra del estudio. Cabe resaltar que ocho jugadores reportaron dos lesiones, y ochenta y un jugadores reportaron una única lesión. Estos datos indican que solamente el 5,3% de los jugadores sufrieron una lesión en los isquiosurales en este periodo de tiempo.

A continuación, se describen y se analiza la distribución de las lesiones que han tenido lugar en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad y la demarcación preferente de los jugadores, así como la naturaleza de las lesiones, la causa/acción y el contexto de juego en el que se produjeron.

5.3.1. Distribución de las lesiones por grupo de edad.

En primer lugar, se mostrarán los resultados descriptivos relativos a la distribución de las lesiones en isquiosurales en cada uno de los grupos de edad a lo largo de la temporada 2016-2017 (Tabla 14 y Figura 39).

Nuestros resultados indican que el porcentaje relativo (considerando la relación entre el número de lesiones y el número de jugadores de cada grupo de edad) de jugadores lesionados se incrementaba progresivamente conforme aumenta la edad (Tabla 14 y Figura 40).

Tabla 14. Distribución del porcentaje relativo (%) y número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad.

<i>Grupo de Edad</i>	<i>% Relativo de lesión</i>	<i>n° Lesiones</i>
<i>Benjamines</i>	1,19%	4
<i>Alevines</i>	3,1%	12
<i>Infantiles</i>	3,9%	16
<i>Cadetes</i>	8,7%	30
<i>Juveniles</i>	14%	27

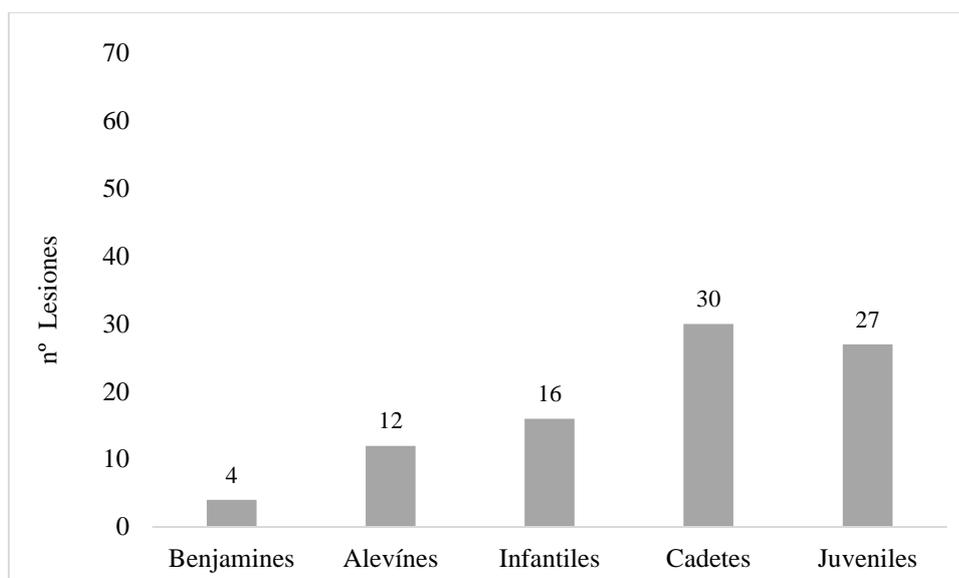


Figura 39. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad.

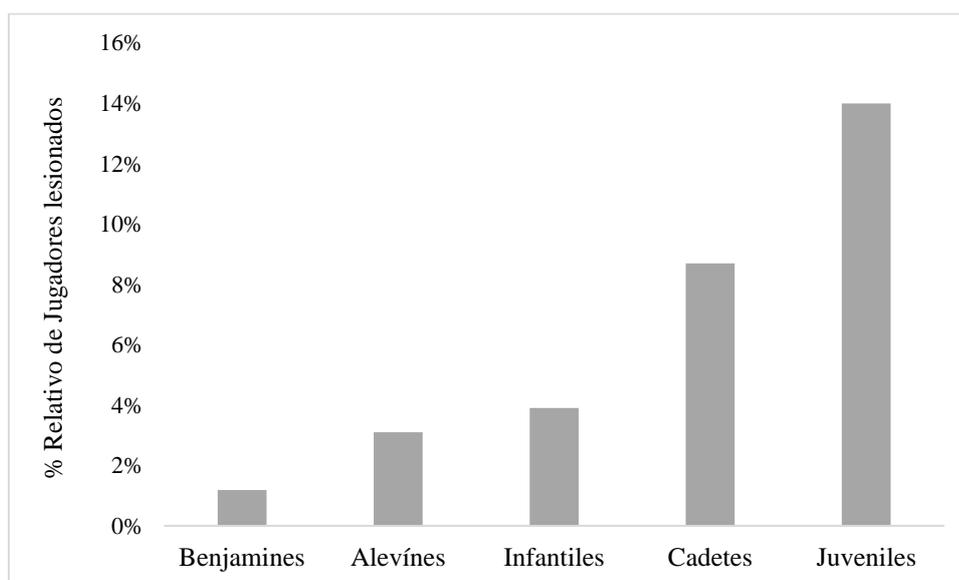


Figura 40. Porcentaje relativo (%) de jugadores que sufrieron alguna lesión en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad.

Por otro lado, y teniendo en cuenta los análisis del total de lesiones que se dieron durante el periodo mencionado, podemos comprobar que tanto el número como el porcentaje relativo de lesiones se incrementaba conforme aumentaba la categoría de edad

formativa del equipo. Así, nuestros resultados permiten comprobar que el 66% de las lesiones se observaron en las categorías de mayor edad (cadetes 33% y juveniles 33%). Cabe resaltar que estas categorías representaron únicamente el 32% de la muestra total del estudio. El 34% restante de las lesiones se dieron en los grupos de edad inferiores a 13 años (benjamines 4%, alevines 12% e Infantiles 18%), las cuales representaron alrededor de 2/3 de la muestra total (68%) (ver Tabla 15).

Tabla 15. Distribución del porcentaje total y número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad.

Grupo de Edad	% Relativo de lesión	n° Lesiones
Benjamines	1,19%	4
Alevines	3,1%	12
Infantiles	3,9%	16
Cadetes	8,7%	30
Juveniles	14%	27

Estas diferencias entre grupos de edad fueron refrendadas por los resultados del tratamiento estadístico inferencial (Chi-cuadrado), observándose que la prevalencia de las lesiones variaba en función del grupo de edad al que pertenecía el jugador ($\chi^2(4) = 31,71, p < 0,001, V = 0,28$). Como muestran los análisis *post hoc* llevados a cabo mediante las comparaciones múltiples (ver Figura 12), se hallaron diferencias significativas en la tasa lesional entre los jugadores más jóvenes y los más mayores (benjamines - infantiles

($\chi^2(1) = 8,09, p < 0,005, V = 0,62$); benjamines - cadetes ($\chi^2(1) = 21,77, p < 0,001, V = 0,77$); benjamines - juveniles ($\chi^2(1) = 21,77, p < 0,001, V = 0,77$); alevines - cadetes ($\chi^2(1) = 9, p < 0,005, V = 0,45$); alevines - juveniles ($\chi^2(1) = 9, p < 0,005, V = 0,45$)), Por el contrario, no se encontraron diferencias entre benjamines y alevines ($\chi^2(1) = 4, p = 0,45$); entre alevines e infantiles ($\chi^2(1) = 4,12, p = 0,42$); entre infantiles y cadetes ($\chi^2(1) = 4,59, p = 0,32$); entre infantiles y juveniles ($\chi^2(1) = 4,59, p = 0,32$); ni entre juveniles y cadetes ($\chi^2(1) = 0, p = 1$).

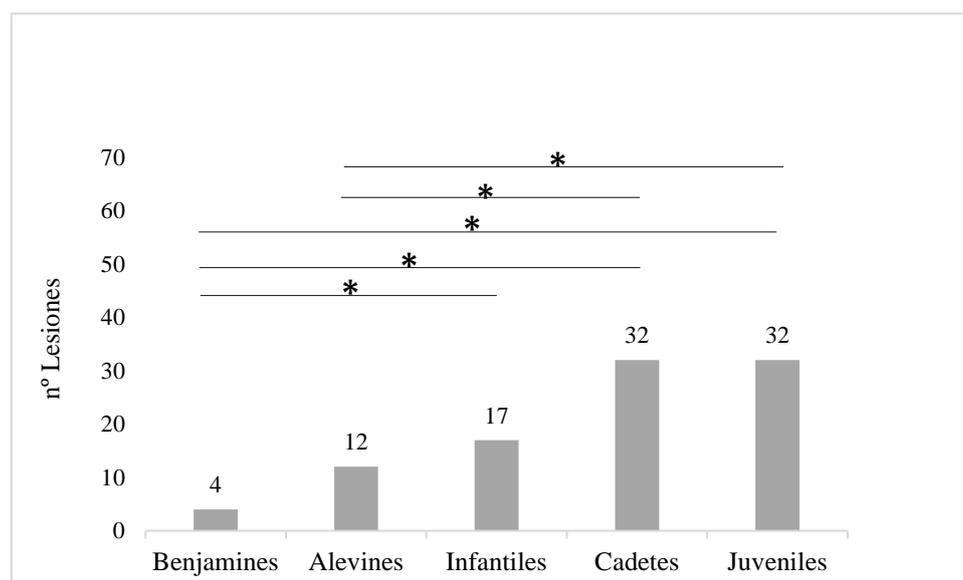


Figura 41. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función del grupo de edad. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en nº de lesiones entre los distintos grupos de edad.

5.3.2. Distribución de las lesiones por demarcación preferente.

A continuación, se muestra la distribución de las lesiones en función de la demarcación preferente que ocupa el jugador en el terreno de juego. En la Tabla 16 y en la Figura 42, se puede apreciar una mayor incidencia lesional en los defensas (43%)

respecto al resto de demarcaciones (2% porteros, 26% centrocampistas y 29% delanteros).

Tabla 16. Distribución del porcentaje total y número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la demarcación y el grupo de edad.

<i>Grupo de Edad</i>	<i>Demarcación</i>			
	<i>Porteros</i>	<i>Defensas</i>	<i>Centrocampistas</i>	<i>Delanteros</i>
<i>Benjamines</i>	0	2	2	0
<i>Alevines</i>	0	6	1	5
<i>Infantiles</i>	0	5	10	2
<i>Cadetes</i>	2	12	6	12
<i>Juveniles</i>	0	17	6	9
<i>N TOTAL</i>	2	42	25	28
<i>% TOTAL</i>	2%	43%	26%	29%

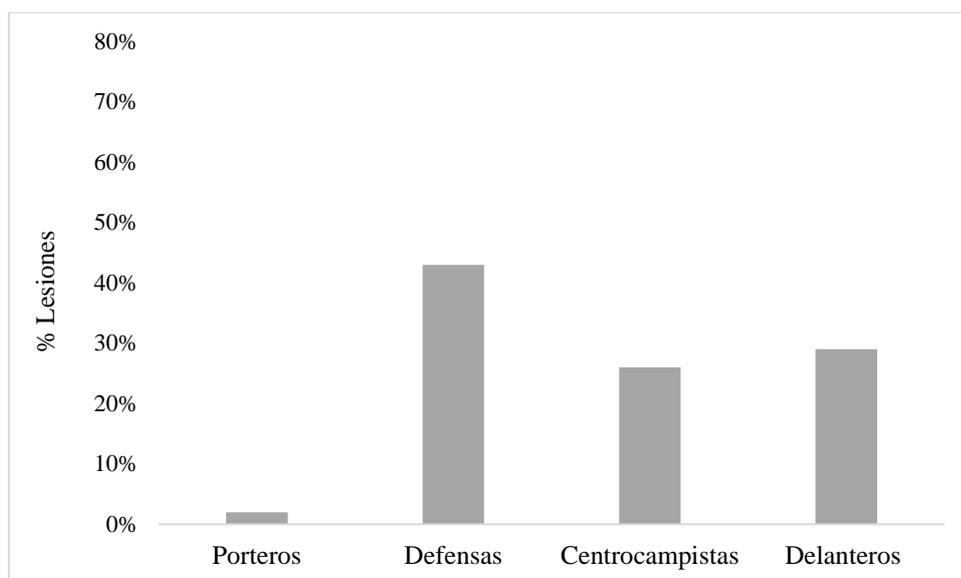


Figura 42. Distribución del porcentaje del total de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la demarcación.

Teniendo en cuenta el número de jugadores de cada demarcación (166 porteros, 584 defensas, 356 centrocampistas y 551 delanteros) el porcentaje relativo de porteros lesionados fue de 1,2%, respecto a los defensas con un 7,19%, los centrocampistas con un 7% y delanteros un 5% (Ver Figura 43).

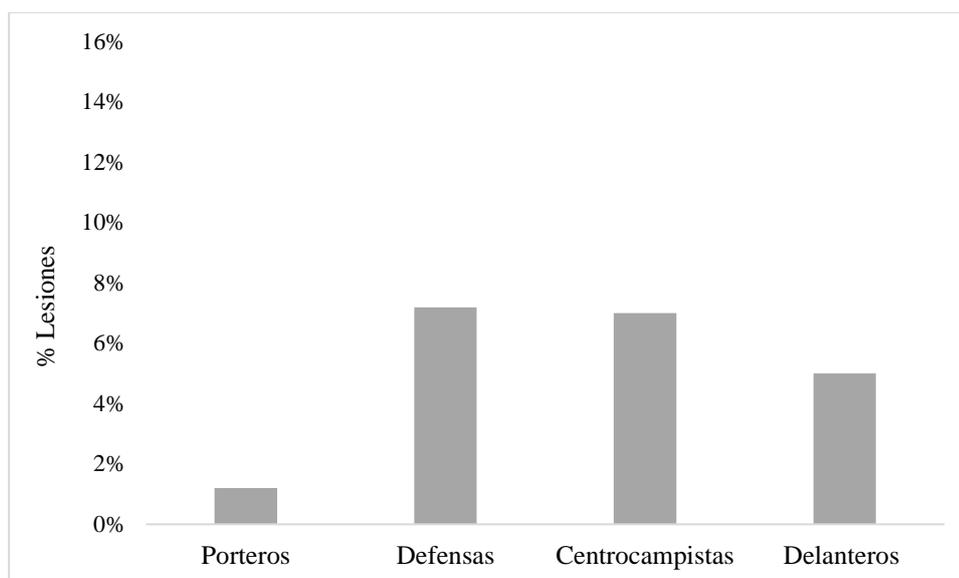


Figura 43. Porcentaje relativo (%) de jugadores que sufrieron alguna lesión en la musculatura isquiosural en función de su demarcación.

Los análisis inferenciales confirmaron que la incidencia lesional varió según la demarcación preferente del jugador ($\chi^2 (3) = 33,94, p < 0,001, V = 0,33$), comprobándose que los porteros sufrieron significativamente menos lesiones en isquiosurales (2%) que los jugadores de campo (43% de defensa ($\chi^2 (1) = 36,36, p < 0,001, V = 0,52$); 26% de centrocampistas ($\chi^2 (1) = 19,59, p < 0,001, V = 0,85$); y 29% delanteros ($\chi^2 (1) = 22,53, p < 0,001, V = 0,5$). Cabe resaltar que los porteros representaron únicamente el 10% de la muestra total del estudio. Cuando se realizaron los análisis de distribución de las lesiones entre las distintas demarcaciones de jugadores de campo, únicamente se encontraron diferencias marginalmente significativas ($\chi^2 (2) = 5,20, p = 0,07$). Tras estudiar las diferencias por pares de demarcaciones y tras aplicar las correcciones de Bonferroni¹⁰ se observaron diferencias marginalmente significativas entre defensas - centrocampista (χ^2

¹⁰ Dado al número de comparaciones se aplicaron las correcciones de Bonferroni (para evitar incrementar el error tipo I y decir que hay una diferencia cuando no la hay). Es decir, se dividió 0,05 entre el número de comparaciones, en este caso tres. Y por lo tanto el valor de p de significatividad ya no fue a partir de 0,05 si no 0,01, eliminando los símbolos de la figura entre demarcaciones de campo.

(1) = 4,31, $p = 0,03$), no observándose tales diferencias entre defensas - delanteros (χ^2 (1) = 2,80, $p = 0,09$); ni centrocampista - delantero (χ^2 (1) = 0,16, $p = 0,68$) (Ver Figura 15).

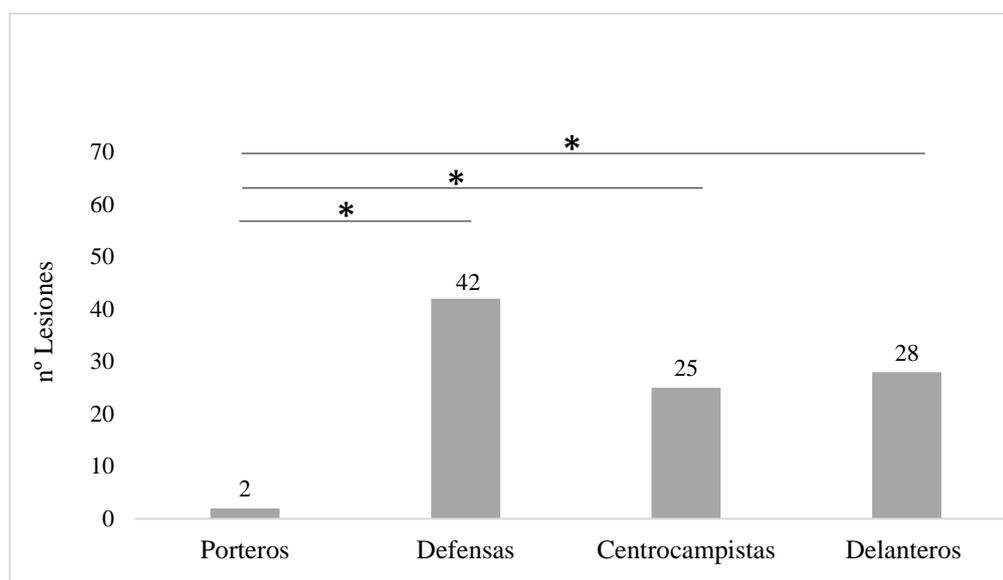


Figura 44. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la demarcación. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en nº de lesiones entre las distintas demarcaciones.

5.3.3. Distribución de las lesiones en función de su naturaleza.

La Tabla 17 muestra cómo se distribuyen las lesiones en isquiorales en función de su naturaleza- definición. Se puede observar que la lesión más recurrente fue la sobrecarga (48%), seguida de la distensión (25%), la contractura y la rotura fibrilar (ambas con un 15%).

Tabla 17. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su naturaleza.

<i>Naturaleza de la lesión</i>			
<i>Sobrecarga</i>	<i>Contractura</i>	<i>Distensión</i>	<i>Rotura</i>
47	15	20	15
48,45%	15,46%	20,62%	15,46%

Los resultados de la estadística inferencial confirmaron las diferencias en la distribución de lesiones según su naturaleza ($\chi^2 (3) = 29,10, p < 0,001; V = 0,32$) (ver Figura 45). Los análisis de comparaciones múltiples únicamente mostraron diferencias significativas entre las lesiones por sobrecarga y el resto (entre sobrecargas y contracturas, $\chi^2 (1) = 16,51, p < 0,001; V = 0,50$; entre sobrecargas y distensiones, $\chi^2 (1) = 10,88, p < 0,001; V = 0,40$; y entre sobrecargas y roturas, $\chi^2 (1) = 16,51, p < 0,001; V = 0,50$).

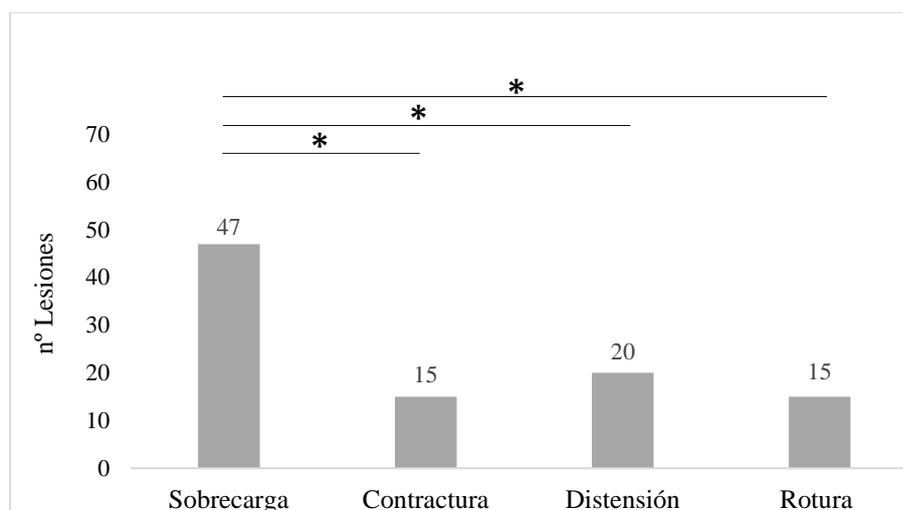


Figura 45. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su naturaleza. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas en n° de lesiones según su tipología.

Al realizar los análisis inferenciales de la naturaleza de las lesiones en cada uno de los grupos de edad por separado observamos que no se encontraron diferencias significativas en la naturaleza de las lesiones ni en los benjamines ($\chi^2 (3) = 6, p = 0,11$), ni en alevines ($\chi^2 (3) = 3,33, p = 0,34$), ni en infantiles ($\chi^2 (3) = 7,23, p = 0,06$), ni tampoco en cadetes ($\chi^2 (3) = 3,75, p = 0,28$). Únicamente se hallaron diferencias significativas en la distribución de las lesiones según su naturaleza en la categoría de formación de juveniles ($\chi^2 (3) = 16,75, p < 0,001$), yendo en la línea de los hallazgos descritos anteriormente, es decir, un mayor número de lesiones por sobrecarga que el resto de las tipologías (ver Tabla 18).

Tabla 18. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su naturaleza en los distintos grupos de edad.

<i>Grupo de Edad</i>	<i>Naturaleza de la lesión</i>			
	<i>Sobrecarga</i>	<i>Contractura</i>	<i>Distensión</i>	<i>Rotura</i>
<i>Benjamines</i>	3	1	0	0
<i>Alevines</i>	5	1	4	2
<i>Infantiles</i>	9	2	3	3
<i>Cadetes</i>	12	6	9	5
<i>Juveniles *</i>	18	5	4	5
<i>N TOTAL</i>	47	15	20	15
<i>% TOTAL</i>	48,45%	15,46%	20,62%	15,46%

* $p < 0,001$ indica diferencias significativas en nº de lesiones según su naturaleza.

5.3.4. Distribución de las lesiones en función de su causa.

En cuanto a la causa/ acción en que se produjeron las lesiones en la musculatura isquiosural, los resultados revelaron que la causa de lesión más recurrente fue durante acciones de carrera (64%) (ver Tabla 19).

Tabla 19. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su causa / tipo de acción en la que se produjo.

<i>Causa de la lesión</i>			
<i>Golpeo</i>	<i>Carrera</i>	<i>Salto</i>	<i>Otra</i>
11	62	5	19
11,34%	63,92%	5,15%	19,59%

Estas diferencias entre las causas de las lesiones fueron refrendadas por los resultados del tratamiento estadístico inferencial, mostrando un mayor número de lesiones provocadas en acciones de carrera ($\chi^2 (3) = 82,42, p < 0,000; V = 0,53$) (ver Figura 46).

El análisis post hoc mostró diferencias significativas entre las causas que produjeron las lesiones: entre acciones de carrera y acciones de golpeo ($\chi^2 (1) = 32,40, p < 0,001; V = 0,66$); entre acciones de carrera y otras causas ($\chi^2 (1) = 22,82, p < 0,001; V = 0,53$); así como entre acciones de carrera y acciones de saltos ($\chi^2 (1) = 48,49, p < 0,001; V = 0,85$).

Además, el número de lesiones que se dieron debido a otras causas (posteriormente a partidos, o durante los mismos, sin haber sido causadas por una acción específica o donde los jugadores no pudieron confirmar cuándo comenzaron sus síntomas por primera vez) fue significativamente superior que las lesiones ocurridas en acciones de salto ($\chi^2 (1) = 8,16, p < 0,008; V = 0,58$) siendo esta última la acción menos común (Ver Figura 46 y Tabla 19).

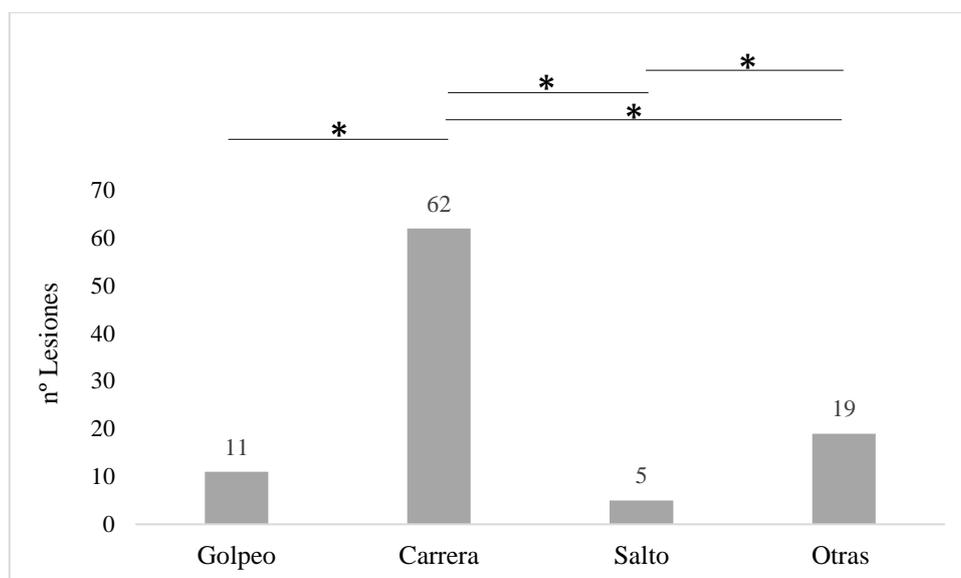


Figura 46. Distribución del número de lesiones en la musculatura isquiosural en función de la acción en la que se produjo. * $p < 0,001$ indica diferencias significativas respecto al resto de causas.

Al realizar los análisis inferenciales de la causa de las lesiones en cada uno de los grupos de edad por separado (ver Tabla 20), observamos que no hubo diferencias significativas en las causas de las lesiones en los grupos de edad más jóvenes, ni en edades de benjamines ($\chi^2(3) = 2, p = 0,57$), ni en alevines ($\chi^2(3) = 11,33, p = 0,01$). Sin embargo, sí que se dio una distribución diferencial en las causas de las lesiones en grupos de mayor edad, desde los infantiles ($\chi^2(3) = 24,17, p < 0,001$), los cadetes ($\chi^2(3) = 24,75, p < 0,001$) y los juveniles ($\chi^2(3) = 26,25, p < 0,001$), donde la carrera fue la acción que provocó más lesiones de isquiosurales.

Tabla 20. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función de su causa / tipo de acción en la que se produjo en cada grupo de edad.

Grupo de Edad	Causa de la lesión			
	Golpeo	Carrera	Salto	Otras
Benjamines	1	2	0	1
Alevines	1	8	1	2
Infantiles *	2	13	1	1
Cadetes *	5	20	2	5
Juveniles *	2	19	1	10
N TOTAL	11	62	5	19
% TOTAL	11,34%	63,92%	5,15%	19,59%

* $p < 0,001$ indica diferencias significativas en nº de lesiones según su causa.

5.3.5. Distribución de las lesiones en función del contexto (entrenamiento vs. competición).

A continuación, analizaremos la distribución de las lesiones en función del contexto (entrenamiento vs. Competición) en el que aparece la lesión.

Tabla 21. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo.

<i>Contexto</i>	<i>Lesiones</i>
<i>Competición</i>	56 (58%)
<i>Entrenamiento</i>	41 (42%)

Aunque los resultados descriptivos mostrados en la Tabla 15 indican una mayor tasa lesional durante los partidos (58%) respecto a los entrenamientos (42%), hay que resaltar que, considerando todas las categorías de formación, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ($\chi^2 (1) = 2,31, p = 0,127$) (Figura 19).

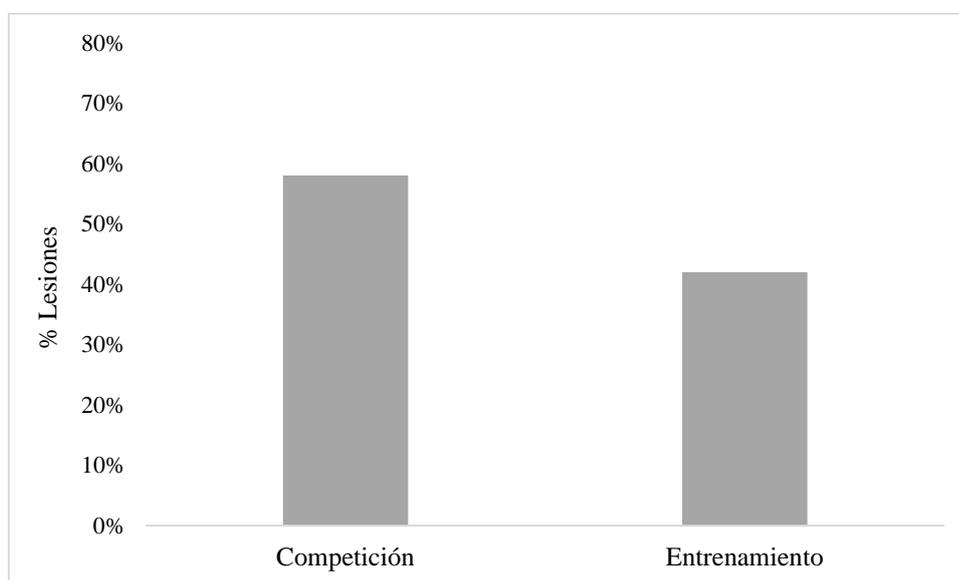


Figura 47. Distribución del porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo.

Al comparar la distribución de lesiones entre ambos contextos en cada uno de los grupos de edad, nuestros resultados solo confirmaron la existencia de diferencias significativas en la categoría de juveniles (Ver Tabla 16 y Figura 20), comprobándose que en estas edades las lesiones que aparecieron durante la competición (72%) casi triplicaron a las ocurridas en entrenamiento (28%) ($\chi^2(1) = 6,12, p = 0,01$).

Por otra parte, y aunque no resultó significativo, considerando la distinta proporción de jugadores en cada grupo de edad, nuestros resultados mostraron que en los grupos de mayor edad (cadetes y juveniles) se observó un mayor porcentaje de lesiones sufridas durante la competición (cadete 53% y juveniles 72%) frente a las categorías de formación inferiores (50% benjamines, 50% alevines y 47% infantiles). Lógicamente, en el contexto de entrenamiento se observó un patrón inverso de resultados, es decir, una mayor proporción de lesiones surgidas durante los entrenamientos en los grupos de menor edad (benjamines, alevines e infantiles).

Tabla 22. Distribución del número y porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo en cada grupo de edad.

<i>Contexto de juego</i>	<i>Categorías</i>					<i>TOTAL</i>
	<i>Benjamines</i>	<i>Alevines</i>	<i>Infantiles</i>	<i>Cadetes</i>	<i>Juveniles*</i>	
<i>Competición</i>	2	6	8	17	23	56
	50%	50%	47%	53%	72%	58%
<i>Entrenamiento</i>	2	6	9	15	7	41
	50%	50%	53%	47%	28%	42%

* $p < 0.01$ indica diferencias significativas en nº de lesiones según el contexto donde se produjo.

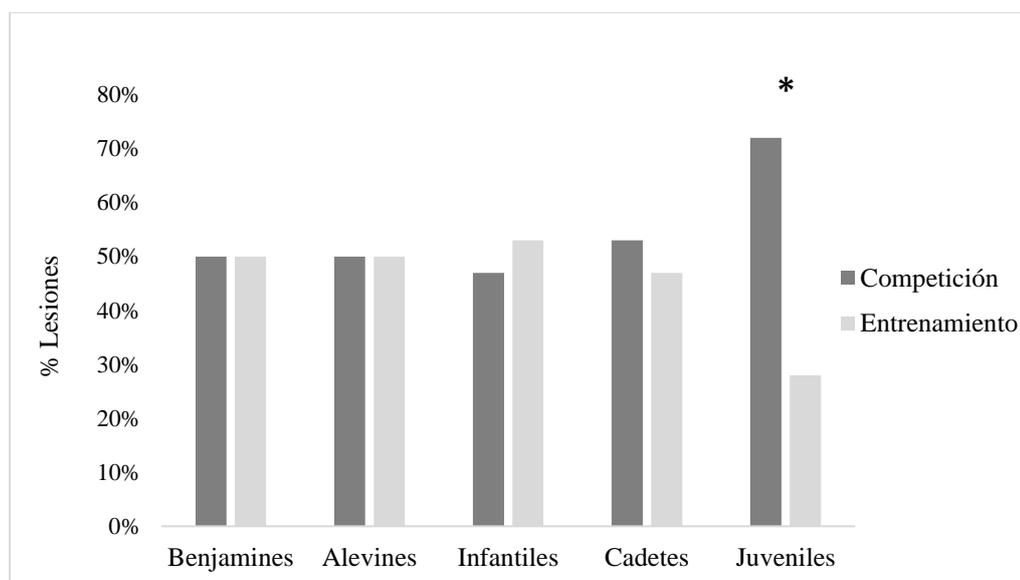


Figura 48. Distribución del porcentaje de lesiones en la musculatura isquiosural en función del contexto en el que se produjo en cada grupo de edad. * $p < 0,01$ indica diferencias significativas en nº de lesiones según el contexto donde se produjo.

5.4. Diferencias en el ROM de flexión de cadera entre jugadores lesionados y no lesionados.

Con el fin de analizar si el ROM en la flexión de la cadera estaba relacionado con la tasa lesional en la musculatura isquiosural, se tomaron los datos del ROM de cincuenta y siete (57) jugadores que sufrieron una lesión en esta musculatura y que pertenecían a los grupos de edad con mayor incidencia de lesiones (Cadetes, $n = 342$, 30 lesionados y Juveniles, $n = 189$, 27 lesionados) y se compararon con los de una muestra aleatoria y estratificada con fijación proporcional de otros cincuenta y siete (57) jugadores no lesionados de estos grupos de edad (Cadetes, $n = 22$ y Juveniles, $n = 35$)¹¹.

¹¹ Se seleccionaron 22 jugadores de la muestra de cadetes y 35 jugadores de la muestra de juveniles para mantener la misma proporcionalidad de acuerdo con el número total de cada grupo, tomando nota de los jugadores lesionados en cada grupo. Es decir, de 342 jugadores cadete, 30 tuvieron lesión. Del mismo modo, de 189 jugadores juveniles, 27 tuvieron lesiones. Por lo tanto, cuando se compararon los dos grupos, la prevalencia lesiva / proporción de jugadores fue mayor en la categoría juvenil.

Los análisis comparativos realizados (prueba-*t*) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ni en el valor de ROM medio obtenido de ambas piernas ($t(112) = 1,44, p = 0,152$), ni en el ROM de la pierna dominante ($t(112) = 1,43, p = 0,153$), ni de la no dominante ($t(112) = 1,37, p = 0,17$) (Ver Tabla 17 y Figuras 21, 22 y 23).

Tabla 23. Promedio \pm SD del ROM observado en pierna dominante (D) y no dominante (ND) en función de la condición de los jugadores (Lesionados vs. No Lesionados).

Condición	D (°)	ND (°)	Promedio (°)
Lesionados	60,12 \pm 10,29	59,10 \pm 9,21	59,61 \pm 9,49
No lesionados	57,08 \pm 12,15	56,35 \pm 11,98	56,71 \pm 11,83

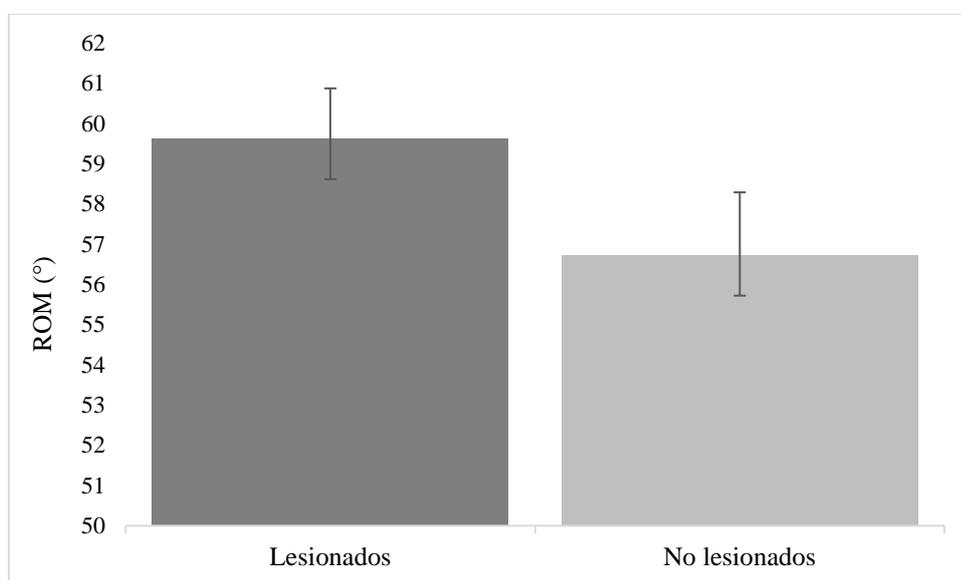


Figura 49. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna dominante y no dominante) en los jugadores Lesionados vs. No Lesionados. Las barras de error representan el error estándar.

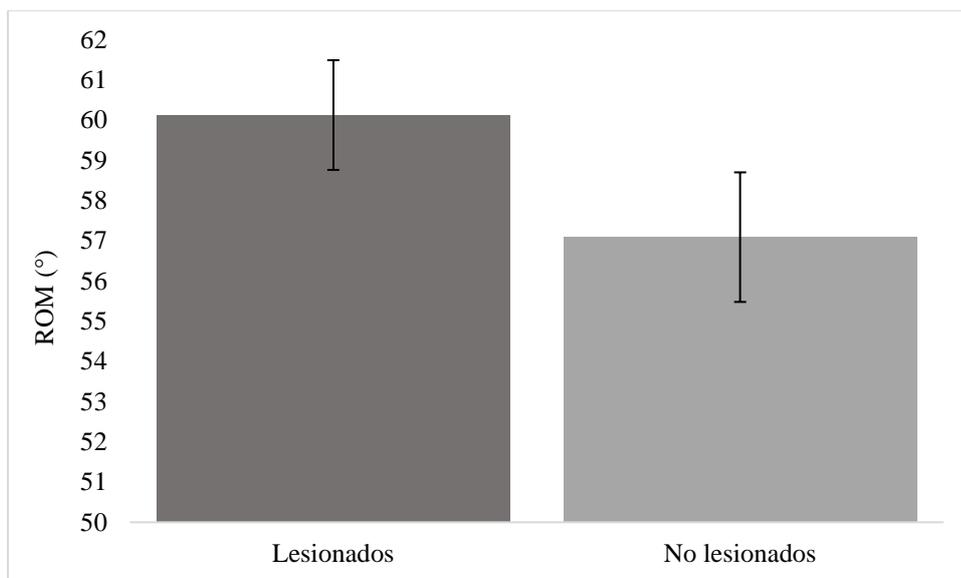


Figura 50. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna dominante) en los jugadores Lesionados vs. No Lesionados. Las barras de error representan el error estándar.

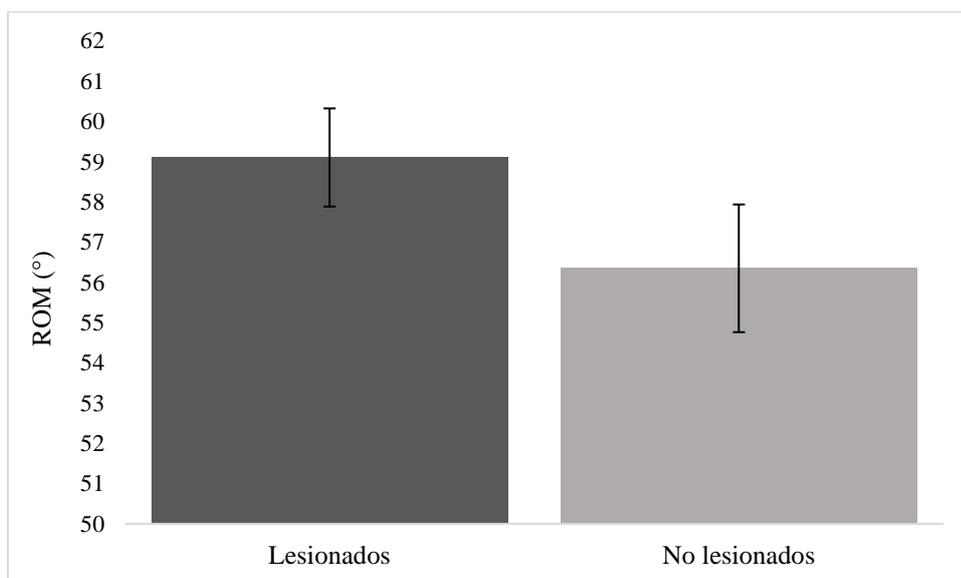


Figura 51. Promedios de ROM (obtenidos de la pierna no dominante) en los jugadores Lesionados vs. No Lesionados. Las barras de error representan el error estándar.

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN

A continuación, pasamos a discutir los hallazgos más relevantes obtenidos en la presente investigación. Para ello, y con el objetivo de intentar dar coherencia a la redacción y facilitar la comprensión y revisión de los datos en la sección anterior, seguiremos el mismo orden en el que se presentaron los resultados.

6.1. Rango de movimiento en flexores de cadera.

6.1.1. ROM de flexión de cadera en función de la dominancia de miembro inferior.

Evidencias previas han respaldado la hipótesis de que tanto el mayor nivel de desarrollo condicional como el mejor nivel de coordinación del patrón de movimiento unilateral de la pierna dominante provocadas por la práctica de fútbol, pueden producir asimetrías en la fuerza, control motor y flexibilidad entre ambas piernas (Daneshjoo et al., 2013; Fousekis et al., 2010; Rahnama et al., 2005). Estas asimetrías podrían derivar en que se observe un mayor ROM de la pierna dominante en comparación con la pierna no dominante (Daneshjoo et al., 2013; López-Valenciano et al., 2019). No obstante, la mayoría de los estudios mencionados anteriormente se han llevado a cabo en poblaciones de jugadores adultos pertenecientes a categorías profesionales que emplearon fundamentalmente procedimientos pasivos en la evaluación de la amplitud de movimientos.

Aunque nuestros resultados denotan, como era de esperar, la existencia de una gran variabilidad interindividual en los datos obtenidos, los datos obtenidos permiten aportar nuevas evidencias en favor de la observación de mayores ROM activos en la pierna dominante respecto a la no dominante (una mejora promedio de 1,33°, con una

desviación estándar promedio de 4,78°). Nuestros hallazgos van en la línea de los reportados por estudios previos que emplearon el mismo test ASLR (Henderson et al., 2010), encontrando diferencias de hasta 3° a favor de la pierna dominante.

Las asimetrías en el ROM en favor de la pierna dominante identificadas en nuestro estudio podrían asociarse con factores relacionados con la mayor frecuencia de repetición de los gestos técnicos asimétricos del pase y del golpeo, así como los movimientos de manejo/control de balón por parte de la pierna dominante principalmente (Daneshjoo et al., 2013; Fousekis et al., 2010). En estas acciones se realiza una flexión de cadera que suele ir acompañada de una extensión casi completa de la rodilla.

Estudios previos han demostrado que los jugadores de fútbol usan de forma preferente una pierna para realizar las acciones técnico- tácticas específicas en el fútbol (Rahnama et al., 2005). Esta mayor demanda de una de las dos piernas implicaría un mayor desarrollo de la fuerza en los flexores de la cadera y los extensores de la rodilla, unidos a la acción excéntrica de la musculatura de los isquiosurales. Sin embargo, la pierna no dominante tendría el papel principal de proporcionar apoyo postural, lo cual podría incidir en las asimetrías en el ROM que se suelen observar entre los miembros inferiores en función de su dominancia lateral, no solo en fútbol (Blache & Monteil, 2012; Condello et al., 2016; Daneshjoo et al., 2013; Rahnama et al., 2005; Sannicandro et al., 2014) sino también en otros deportes (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2015; Hart et al., 2014).

6.1.2. ROM de flexión de cadera en función de los grupos de edad.

Hasta la fecha se han recopilado datos muy escasos sobre la evolución del ROM en las diferentes etapas de formación a lo largo del proceso de entrenamiento del fútbol

base. Algunos estudios previos se llevaron a cabo en grupos de edad de 11 a 14 años de edad (Lloyd et al., 2015; Marques et al., 2017), aunque empleando muestras demasiado pequeñas, que limitó la interpretación y generalización de sus hallazgos. En la misma línea, otros trabajos utilizaron métodos de evaluación del ROM cuya validez y transferencia han sido cuestionados por la literatura, como el test Sit & Reach (Nikolaïdis, 2012).

Los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral han tratado de paliar algunas limitaciones de estudios previos, como podría ser la recogida de datos en un solo club-academia, lo cual podría hacer que la metodología de entrenamiento de la misma (priorización condicional, técnica, táctica...) pudiera modular los resultados. En este sentido, nuestro estudio se ha realizado obteniendo datos de cinco academias de fútbol de élite.

Nuestros resultados han demostrado que el aumento de la edad de los jugadores modula el ROM durante la flexión de la cadera, tanto en la pierna dominante como en la no dominante. En particular, nuestros resultados mostraron un cambio de tendencia en la evolución del ROM en la categoría infantil, pudiéndose comprobar que desde los 9 a los 13 años (de benjamín a infantil) se observó una disminución significativa en el ROM ($-3,66^\circ$), mientras que a partir de esta categoría (infantil) la tendencia se invirtió y el ROM comenzó a aumentar ($+3,78^\circ$ desde infantil a juvenil).

Estos hallazgos podrían explicarse por el desarrollo evolutivo de las diferentes capacidades físicas del joven atleta, teniendo en cuenta que el pico de crecimiento máximo en las ganancias de fuerza se experimenta entre los 12 y los 13 años de edad (Malina et al., 2005; Philippaerts et al., 2006). En este sentido, Lloyd et al. (2015), al utilizar la prueba de la *Functional Movement Screen* (FMS), observaron que los grupos de edad posteriores al pico de velocidad de altura, coloquialmente llamado el estirón

(cadetes y juveniles), fueron los que obtuvieron las mejores puntuaciones en las diferentes pruebas del FMS. En la misma línea, Marques et al. (2017) observaron valores de ROM más bajos en el grupo de edad más joven, en este caso sub15 (cadetes de primer año), en comparación con los sub16 (cadetes de segundo año) y los sub18 (juveniles). Estos hallazgos van en la línea de los observados en la presente tesis a partir de las categorías de infantiles a juveniles. Sin embargo, otros autores reportaron hallazgos opuestos a los descritos anteriormente. Así, Rolls & George (2004) observaron una disminución en la flexibilidad de los isquiosurales en el grupo de mayor edad, empleando una muestra reducida de jugadores de 9 a 19 años ($n = 93$) utilizando distintas pruebas: extensión activa de rodilla, extensión activa de rodilla desde sentado, elevación pasiva de la pierna recta y extensión pasiva de rodilla. De nuevo volvemos a resaltar que la divergencia entre los hallazgos obtenidos en nuestro trabajo con los anteriormente citados podrían explicarse por factores metodológicos relacionados con la variabilidad interindividual que afectan en gran medida a los valores promedio cuando el tamaño de la muestra es demasiado pequeño (en el estudio de Rolls & George se abarcó un rango de edad de 10 años con solo una muestra de 93 jugadores, lo que daría un promedio de unos 9-10 jugadores por grupo de edad). Además, sus resultados podrían explicarse por el tipo de test utilizados, los cuales condicionan los músculos involucrados en las acciones que determinaron el ROM, teniendo en cuenta el compromiso activo o pasivo para lograr la ROM máxima, y los requisitos de fuerza y control motor requeridos por el test ASLR (Hu et al., 2011).

Teniendo en cuenta que la extensibilidad de los isquiosurales es uno de los factores moduladores del ROM, se han descrito resultados similares a los observados en el presente trabajo con jugadores de 10 a 22 años de edad (menor ROM en jugadores sub 12 que los obtenidos en los grupos más jóvenes y mayores (Nikolaïdis, 2012). Sin

embargo, al comparar estos resultados con los presentes, hay que resaltar que la prueba utilizada en el estudio mencionado anteriormente fue la prueba Sit & Reach. Según Muyor et al. (2014), los valores observados en esta prueba están afectados por la movilidad multisegmentaria de la columna vertebral y la pelvis. Estos autores recomiendan el test *ASLR* (utilizado en nuestro estudio) como una prueba más adecuada para evaluar la flexibilidad de los isquiosurales en niños en edad escolar.

Es importante tener en cuenta que el test *ASLR* es más que una simple prueba de flexibilidad de isquiosurales. Está claro que la extensibilidad de este grupo muscular afectará al resultado de la prueba, pero también las demandas de ciertos niveles de fuerza y activación de la musculatura flexora de cadera (psoas, ilíaco anterior, recto femoral, aductor largo) y estabilizadores de la acción (glúteo medio, erector espinal, músculos abdominales). Por lo tanto, nuestro patrón de resultados relativo a la evolución del ROM con la edad también podría explicarse por el hecho de que los grupos de mayor edad (cadetes y juveniles) se encuentran en un momento “dulce” u óptimo de desarrollo de la fuerza (período posterior a la velocidad pico de altura) (Lloyd et al., 2015). Este hecho permite a los jugadores de mayor edad lograr una mayor activación de la musculatura agonista, lo que aumenta la capacidad en este caso para realizar la acción de elevación controlada y mantener una posición isométrica de la pierna extendida al final de la acción que va a ser evaluada.

Otros factores que pueden ayudarnos a interpretar nuestros hallazgos serían aquellos relacionados con el control motor y la coordinación intermuscular entre los músculos agonistas, antagonistas, sinergistas y fijadores que intervienen en la flexión de la cadera con extensión de la rodilla, así como el mantenimiento de la posición isométrica durante el tiempo requerido al final del test *ASLR* (Hu et al., 2012). De este modo, mientras se llevaba a cabo el test, se pudieron observar las dificultades de algunos

jugadores, especialmente en los grupos de edades más jóvenes, para elevar la pierna, manteniéndola recta de manera estable dentro del plano sagital. En este sentido, los investigadores informaron de la existencia de acciones de compensación que implicaban la rotación (interna y externa) y la abducción y aducción de cadera. Aunque sería interesante realizar estudios adicionales para conocer mejor cómo afectan las variables relacionadas con el control-estabilización del movimiento a la aplicación de fuerza y a los niveles de ROM en estas edades, consideramos que en las primeras etapas de desarrollo (hasta la categoría infantil) el joven deportista aún no ha alcanzado el nivel de desarrollo de las capacidades propioceptivas que permiten mantener la estabilidad funcional de la articulación. En los grupos de mayor edad (cadetes y juveniles), y debido al desarrollo madurativo que mejorará estas capacidades de fuerza y estabilidad, se podrán alcanzar mayores valores de ROM (Marques et al., 2017).

6.1.3. ROM de flexión de cadera en función de la demarcación preferente.

Los resultados del nuestro estudio han demostrado la ausencia de diferencias significativas en el ROM asociadas al desempeño de posiciones específicas de los jugadores dentro de los sistemas de juego usados por los entrenadores en sus equipos. Sin embargo, un estudio anterior realizado por Portes et al. (2015) con 296 jugadores de 10 a 13 años de edad empleando el test Sit & Reach, encontró valores de flexibilidad más altos en los porteros que en los jugadores de otras posiciones. A pesar de las limitaciones metodológicas del estudio anterior (test empleado y tamaño de la muestra), estos resultados están en línea con los encontrados en el grupo de edad juvenil de nuestro estudio (una tendencia que no llegó a ser estadísticamente significativa). Cabe resaltar

que, en nuestro estudio, en el grupo de edad juvenil solo existían 22 porteros, un número muy reducido respecto a los 167 jugadores de campo. La variabilidad interindividual del ROM en esta demarcación, asociado al reducido tamaño de la muestra pudo hacer que tales diferencias no llegaran a ser significativas, algo que podríamos esperar dadas las demandas de las acciones competitivas y metodología de entrenamiento de los porteros. En este sentido, un estudio reciente llevado a cabo por López-Valenciano et al. (2019) en futbolistas profesionales empleando pruebas más funcionales, aunque pasivas, mostró que los porteros alcanzaron valores más altos de ROM que los jugadores de campo. Como indicábamos anteriormente, los métodos de entrenamiento individual y mayor grado de especificidad desarrollados por los porteros desde una edad temprana, los cuales requieren acciones de gran amplitud en diferentes ubicaciones anatómicas podrían favorecer este tipo de adaptaciones en el ROM (Di Salvo et al., 2008). Por otro lado, Sporis et al. (2011) usaron el test ASLR para verificar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre demarcaciones (defensas – centrocampistas – atacantes) observando un mayor ROM en favor de los atacantes en la pierna izquierda (+1,6°) respecto a centrocampistas y defensas. Y un mayor ROM (+ 2°) de los centrocampistas en la pierna derecha respecto a delanteros y defensas. Los autores sugirieron que estas diferencias se podrían deber al hecho de que durante el juego los atacantes y los centrocampistas realizan un mayor número de golpes (pases cortos, largos y disparos a portería), carreras de alta intensidad y un mayor número de cambios de dirección que los defensas. No obstante, estos resultados a nivel metodológico deberían interpretarse con cautela, ya que no se citó cual fue la pierna dominante y no dominante, impidiendo determinar cuál era la pierna de soporte (apoyo) y la pierna libre, y, por lo tanto, dificulta la obtención de conclusiones claras sobre la relevancia en las asimetrías provocadas por los distintos gestos.

6.2. Distribución de las lesiones en la musculatura isquiosural.

Durante el período de seguimiento del estudio únicamente se documentaron 97 lesiones en los isquiosurales, lo que muestra una prevalencia más baja que la reportada por estudios previos llevados a cabo en jugadores profesionales de fútbol de mayor edad (Ekstrand et al., 2016; Woods et al., 2004). Se han realizado escasos estudios en las edades propias del fútbol base, y en este ámbito autores como Raya et al. (2018) analizaron la incidencia de lesiones musculares durante una temporada regular completa en una academia de fútbol profesional española. Sus resultados mostraron que los isquiosurales fueron los músculos con mayor incidencia de lesión en estas edades tempranas. Anteriormente, Rolls & George (2004) reportaron que 16 de los 93 jugadores que conformaban la muestra (17%) sufrieron al menos una lesión muscular en los isquiosurales (n = 20 lesiones) durante el periodo competitivo.

Los estudios mencionados anteriormente informaron de una menor tasa de lesiones que la observada en la presente tesis. Consideramos que estas diferencias podrían explicarse en parte por el hecho de que el estudio de Rolls & George (2004) no registró las lesiones acontecidas durante la pretemporada. En este sentido, otros trabajos han confirmado que estos periodos preparatorios o pretemporada son fases particularmente críticas en cuanto a su mayor prevalencia de lesiones en los isquiosurales (Dalton et al., 2015). Por otra parte, hemos de resaltar que nuestra investigación se desarrolló en una muestra de participantes pertenecientes a, posiblemente, las mejores academias de fútbol de la región. Esto supone que los responsables del diseño y la supervisión del proceso formativo y de entrenamiento (Departamentos de Metodología de entrenamiento y Preparación Física), así como de los profesionales a cargo de la prevención y tratamiento de lesiones (Departamentos de Salud y Médicos) dispongan de un mayor nivel de

cualificación (Lledó & Huertas, 2012). Esto podría incidir en una mejor planificación y adecuación del entrenamiento de desarrollo de capacidades físicas y trabajo preventivo que pueda reducir la tasa lesional (Salom, 2020).

6.2.1. Edad y lesiones en isquiosurales.

Con respecto a la distribución de las lesiones por grupo de edad, los resultados obtenidos mostraron que, a mayor edad, mayor es la prevalencia de lesiones en los músculos isquiosurales. En este sentido pudimos comprobar que en categoría de cadetes y juveniles se acumularon el 66% del total de lesiones en comparación con el 16% observado en los grupos de edad de benjamines y alevines. Estos resultados coinciden con los descritos por Rolls & George (2004) que reportaron el mayor porcentaje de lesiones en las edades de U17 a U19 y las tasas lesionales más bajas en los grupos de edad de 9 a 10 años. Del mismo modo, Raya et al. (2018) replicaron estos datos observando una mayor prevalencia de jugadores lesionados en los grupos de mayor edad (senior, sub19 y sub16) respecto a los jugadores más jóvenes. En esta línea también van los resultados de Price et al. (2004), que reportaron que los jugadores de los grupos de mayor edad (17–19 años) tenían más probabilidades de sufrir una lesión que los jugadores más jóvenes (9–16 años).

Nuestros resultados también están respaldados por los hallazgos obtenidos por estudios epidemiológicos recientes que definen la edad como un factor de riesgo de lesión en el fútbol base (Rössler et al., 2018). En la misma línea Valle et al. (2018) informaron de un patrón de distribución de las lesiones en los isquiosurales similar al descrito en esta tesis doctoral. Así, estos autores informaron de la aparición temprana de este tipo de

lesiones (a los 9 años de edad) y una prevalencia máxima a los 15 y 17 años de edad, correspondiente a la fase final de la adolescencia.

El aumento observado en la frecuencia y severidad de las lesiones de los isquiosurales con el crecimiento y la maduración del futbolista podría explicarse por factores endógenos, debido a una respuesta adaptativa de este deporte en las propiedades elásticas, viscoelásticas y contráctiles de las estructuras pasivas y activas tales como una mayor tensión activa, unas estructuras musculotendinosas más rígidas y una disminución en la complianza muscular (Charcharis et al., 2019; Kubo et al., 2001). En oposición a estos, entre las causas del escaso número de lesiones musculares isquiosurales en los grupos de menor edad podríamos encontrar causas exógenas como el volumen e intensidad de la carga de entrenamiento. Cabe resaltar que en los grupos de mayor edad (sobre todo en las categorías cadete y juvenil), los jugadores se ven sometidos a un mayor volumen e intensidad de las cargas (número y duración de sesiones de entrenamiento y partidos de competición). Se ha demostrado que, tanto en los entrenamientos como en los partidos, los jugadores de más edad realizan un mayor número de carreras a velocidades altas y muy altas en comparación a los jugadores más jóvenes (Abade et al., 2014; Harley et al., 2010). Cabe recordar que estudios previos han mostrado que este tipo de acciones a alta y muy alta velocidad son uno de los principales mecanismos de lesión de los isquiosurales (Chumanov et al., 2011).

Por otra parte, aunque en línea con los hallazgos anteriores, en la mayoría de los contextos de entrenamiento, sobre todo no en escuelas de élite, hasta la edad de infantiles, los jugadores generalmente entrenan con una frecuencia de dos veces por semana y juegan un partido durante el fin de semana. Es a partir de la categoría de infantiles cuando la frecuencia de entrenamiento suele aumentar hasta los 3 o 4 días más el partido de fin de semana.

Desde otra línea de discusión, y sumando a lo anterior, creemos digno de mención que el patrón de resultados obtenidos en nuestro estudio también puede atender al comienzo y transcurso de la adolescencia, momento en el cual (como se ha detallado a nivel teórico en la presente tesis), se dan una serie de cambios repentinos en el crecimiento que provocan unas alteraciones transitorias (incluso experimentar períodos de regresión) en las funciones sensoriomotoras, las cuales no están completamente maduras y pueden crear un período de alta vulnerabilidad a la lesión (Malina, 2010; Malina et al., 2005).

Al hilo de lo anterior, otro aspecto que podría influir en la interpretación de nuestros resultados podría venir asociado al aumento de la tendencia a la especialización temprana en el contexto deportivo, (Jayanthi et al., 2013; Post et al., 2017), la cual puede generar carencias en cuanto a una limitada variabilidad y riqueza motriz debido a un uso excesivo de ciertos patrones de movimiento muy específicos junto a un desarrollo demasiado temprano de ciertas habilidades técnicas. Todo ello podría tener consecuencias en el aumento del riesgo de lesión en las últimas etapas formativas (Myer et al., 2015) y/o en la edad adulta (Rugg et al., 2018).

Por otra parte, otro aspecto que podría contribuir a entender nuestros resultados sería las ausencias (o al menos carencias en el diseño) de programas preventivos en los grupos de edades más jóvenes (Myer et al., 2011; Tears et al., 2018), siendo una posible causa de deficiencias en categorías superiores a nivel de control neuromuscular, fuerza y flexibilidad (Myer et al., 2011; Zouita et al., 2016) y el consecuente riesgo de lesión.

6.2.2. Demarcación y lesiones en isquiosurales.

Con respecto a la incidencia de lesiones en los isquiosurales en relación con la posición que ocupa el jugador en el campo, nuestros resultados mostraron que los porteros

sufrieron menos lesiones que los jugadores de campo (el porcentaje relativo de porteros lesionados fue de 1,2%, respecto a los defensas con un 7,19%, los centrocampistas con un 7% y delanteros un 5%). A pesar de que el número de porteros en el estudio fue menor que al resto de demarcaciones (un 10% porteros respecto a un 35,2% de defensas, un 21,4% centrocampistas y un 33,2% delanteros), la menor incidencia de lesiones en los porteros se puede relacionar con el perfil del esfuerzo que desarrolla durante su actividad, especialmente en lo referido al menor número de acciones de alta intensidad que realizan estos jugadores, y que además no se dan en las condiciones de fatiga que experimentan los jugadores de campo (Di Salvo et al., 2008). Nuestros resultados van en la línea de los descritos anteriormente por Woods et al. (2004), quienes también atribuyeron estas diferencias en la distribución de lesiones por demarcación a los diferentes patrones de acciones motoras y habilidades ejecutadas por los porteros.

Por otra parte, aunque no se observaron diferencias significativas, nuestros resultados descriptivos mostraron que los defensores sufrieron más lesiones que los centrocampistas, mientras que, a la inversa, el estudio de Dauty et al. (2016), desarrollado en jugadores adultos, reportó una mayor tasa de lesiones en los centrocampistas que en los defensores. Las diferencias entre nuestros resultados y los obtenidos en el citado estudio puede deberse a la distinta edad de los grupos analizados en ambos estudios, siendo grupos de edad más jóvenes los participantes en nuestra tesis doctoral. Cabe resaltar que, a nivel metodológico, en los grupos de edad más jóvenes, normalmente en jugadores de edades comprendidas entre los 9 y U12 años (benjamines y alevines), es frecuente que los jugadores cambien su posición específica en el campo (alternando 1-2 posiciones en el sistema o terreno de juego) durante el entrenamiento y también (aunque en menor medida) durante los partidos de competición. Más adelante, en las categorías de más edad (fútbol 11, a partir de categoría infantil), normalmente los jugadores de estas

academias de élite tienden a especializarse en posiciones específicas dentro del sistema de juego para adaptarse a la táctica-estrategia del equipo. Así pues, el hecho de que en el presente estudio no se hayan observado diferencias respecto a la posición que ocupa el jugador en el campo, puede deberse a que gran parte de la muestra está compuesta de edades más jóvenes, siendo más elevado el % de jugadores de fútbol 8 donde se combinan más las posiciones de los jugadores, pudiendo afectar a los resultados.

6.2.3. Naturaleza de las lesiones en isquiosurales.

Con respecto a la gravedad de las lesiones, en el estudio actual, la Sobrecarga muscular (48%) fue, con mucho, la lesión más diagnosticada, seguida de la Distensión (25%), la Contractura (15%) y la Ruptura muscular (15%).

La ruptura muscular, considerada como la lesión estructural más grave en el presente estudio, ocurrió con más frecuencia en los grupos de edades cadete y juvenil. Los resultados apuntan en la misma dirección que los descritos en estudios anteriores que muestran que la proporción de lesiones graves en los isquiosurales aumenta con la edad del jugador (Cloke et al., 2012; Raya et al., 2018). De hecho, estudios recientes han reportado que la tasa de lesiones más severas se observó en el grupo de edad U15, un período de edad con rápido crecimiento (Read et al., 2018), y en el cual el volumen y la intensidad de las acciones de entrenamiento aumentan, en comparación con los grupos de edad más jóvenes (Abade et al., 2014; Post et al., 2017).

Así pues, la mayoría de las lesiones que se dieron en el presente estudio fueron de nivel funcional (tipo 1: relacionados con el esfuerzo excesivo y tipo 2: musculares-neuromusculares) sin evidencia de desgarro de fibras. En menor medida se observaron lesiones de grado estructural (tipo 3), como los desgarros parciales, y ninguna de tipo 4,

relacionadas con desgarros totales o avulsiones tendinosas. Nuestros resultados son coherentes con los descritos por Raya et al. (2018) y Renshaw & Goodwin (2016) , confirmando que las lesiones de gravedad leves y moderadas fueron las más comunes.

A estas edades, a pesar de que el joven deportista presenta un complejo músculo-tendón inmaduro, es más difícil que se produzcan lesiones musculares y/o articulares debido a las propiedades de complianza observadas en las estructuras músculo-tendinosas (Grosset et al., 2007; Kubo et al., 2001; Lambertz et al., 2003), las cuales pueden desempeñar un papel clave en la protección ante la aparición de lesiones deportivas.

6.2.4. Causas de las lesiones en isquiosurales.

En cuanto a la causa / acción en que se produjeron las lesiones de isquiosurales en el presente estudio, cabe resaltar que la mayoría de ellas (64%) se dieron en acciones de carrera, seguidas de las acciones de golpeo (11%), y acciones de salto (5%), y otras causas no tipificadas (20%). Estos datos van en la línea de los obtenidos por Woods et al. (2004) en futbolistas profesionales ingleses, que demostraron que más del 60% de las lesiones de los isquiosurales se produjeron durante acciones de carrera.

Estos resultados se pueden explicar debido a que uno de los biomecanismos lesivos más importantes y estudiados en las lesiones de isquiosurales, es el alargamiento activo (sobre estiramiento) a alta velocidad y con altos picos de potencia excéntrica durante la última fase de balanceo (paso de una acción excéntrica a una fase concéntrica) en acciones de sprint y aceleraciones (Askling et al., 2008; Small et al., 2009; Thelen et al., 2005; Wan et al., 2017b). Es en este momento cuando los isquiosurales trabajan para desacelerar la extensión de la rodilla y realizar la flexión de cadera, desarrollando tensión mientras se estiran. En esta situación este grupo muscular es más vulnerable a

sufrir lesiones y por lo tanto, en el que la extensibilidad y la fuerza de los isquiosurales juega un papel muy importante. Si los músculos isquiosurales carecen de los niveles de flexibilidad y fuerza en este momento, pueden estirarse más allá de su capacidad de elongación sin producir la tensión suficiente y darse una rotura (Chumanov et al., 2011). Los argumentos indicados anteriormente pueden contribuir a explicar el hecho de los mayores índices de lesiones se observen en el grupo de juveniles respecto al resto de categorías, ya que como se ha comentado anteriormente, en los grupos de mayor edad se dan un mayor número de acciones a altas intensidades (Abade et al., 2014; Harley et al., 2010).

Además de las acciones de carrera, el golpeo de balón es otra acción durante la cual también se produjeron lesiones en isquiosurales, no tan frecuentemente, pero que también hay que tener en cuenta. Estudios anteriores realizados en futbolistas profesionales (Woods et al., 2004) descubrieron que las carreras a altas velocidades y los disparos fueron la primera y la tercera causa respectivamente más comunes de una lesión sin contacto en los isquiosurales. Hay que resaltar que el mecanismo biomecánico de lesión en la acción del golpeo puede ser muy similar al acontecido en las acciones de carrera a altas velocidades, ya que en estas acciones se alcanzan rangos de movimiento elevados alcanzados con alta velocidad de contracción donde se dan cambios de fase concéntrica a excéntrica en tiempo muy reducido. En estas situaciones los isquiosurales también cumplen el rol de frenar excéntricamente la extensión de la rodilla mientras contrarrestan la potencia con la que trabaja su antagonista extensor de rodilla (Chumanov et al., 2011). Es por esto que muchos autores han propuesto programas de prevención y rehabilitación enfatizando ejercicios de sobrecarga excéntrica y esprints cortos a alta velocidad (Mendiguchia et al., 2015, 2017).

Por otra parte, en nuestro estudio, el número de lesiones que se dieron debido a otras causas fue significativamente superior a las lesiones ocurridas en acciones de salto, siendo esta última la acción menos común. Estos datos se pueden explicar debido a que varias de las lesiones ocurridas se dieron posteriormente a partidos, o durante los mismos, pero sin haber sido causadas por una acción específica o donde los jugadores no pudieron confirmar cuándo comenzaron sus síntomas por primera vez (Renshaw & Goodwin, 2016). La clínica de estas lesiones fueron trastornos musculares funcionales (tipo 1: relacionados con el esfuerzo excesivo) sin evidencia macroscópica de desgarro de la fibra muscular, como fueron las sobrecargas e inflamaciones musculares y tendinosas post ejercicio.

6.2.5. Contexto de aparición de las lesiones en isquiosurales.

El nivel de intensidad y el mayor número de acciones a altas velocidades que se dan en competición respecto a entrenamiento (Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2003) aumentan el riesgo de poder sufrir una lesión en situaciones de partido (Ekstrand et al., 2016).

Los datos obtenidos en la presente tesis doctoral al considerar el conjunto de la población muestran la ausencia de diferencias significativas en la distribución del porcentaje de lesiones que se dieron durante la competición (58%) en comparación a las que surgieron durante los entrenamientos (42%). Valores similares de prevalencia lesional han sido descritos por Price et al. (2004) en una muestra de jugadores de fútbol de edades comprendidas entre los 9 y los 19 años. Estos autores observaron una incidencia similar de lesiones en los entrenamientos y las competiciones (48% frente a 52% respectivamente). No obstante, el número de distensiones musculares fue algo superior

durante los entrenamientos respecto a la competición (33% frente a 29% respectivamente).

Ekstrand et al. (2016) informaron de que, a pesar de que la tasa de lesiones por partido fue 9 veces superior a la tasa de lesiones por entrenamiento, el índice de lesiones relacionadas con el entrenamiento aumentó significativamente desde el año 2001 al 2014. Esto se podría explicar debido a que el enfoque metodológico predominante en la actualidad tiene a aumentar el nivel de especificidad de las sesiones de entrenamiento en el fútbol base, aumentando el número de acciones repetidas de alta intensidad, buscando modelar y replicar la naturaleza evolutiva del juego competitivo. Esto quiere decir que los entrenadores, posiblemente relacionado con la consecución de rendimientos a corto y medio plazo, están cada vez más interesados en que las sesiones de entrenamiento reflejen las demandas de un partido, con patrones similares de intensidad y movimiento (Casamichana & Castellano, 2010; Hodgson et al., 2014).

Los datos obtenidos en la presente tesis doctoral, sin embargo, difieren un tanto de los resultados descritos en otros estudios epidemiológicos longitudinales realizados en el contexto del fútbol profesional (Ekstrand et al., 2016; Petersen et al., 2010; Woods et al., 2004). Mientras que en los estudios anteriores se encontraron diferencias significativas entre las lesiones acontecidas en el entrenamiento y la competición, observándose mayores índices de lesión en competición, en nuestra tesis únicamente se observaron diferencias significativas en la etapa juvenil. En estas edades se observó un mayor porcentaje de lesiones sufridas en competición (72%) respecto a entrenamientos (28%). En la línea de lo discutido en apartados anteriores, este hecho podría relacionarse con la mayor intensidad de los esfuerzos que se desarrollan durante los partidos, añadido a un mayor volumen e intensidad de las cargas de entrenamiento que pueden provocar un

efecto acumulativo de fatiga y la aparición de lesiones en los contextos de mayor demanda, como es la competición.

6.3. ROM de flexión de cadera en jugadores lesionados y no lesionados.

Finalmente, nuestro estudio exploró las diferencias entre el ROM de flexión de la cadera en los jugadores lesionados en comparación con los jugadores no lesionados. Nuestros resultados han confirmado la ausencia de diferencias significativas en el máximo ROM alcanzado en el test *ASLR* entre ambos grupos de jugadores.

Desde nuestro punto de vista sugerimos que, al menos en los jóvenes jugadores de fútbol que pertenecen a academias de nivel superior, el ROM durante la flexión de la cadera no parece ser un predictor independiente en las lesiones musculares de los isquiosurales. Esta ausencia de diferencias en la amplitud de movimiento entre los jugadores lesionados y no lesionados refrenda los resultados del estudio de Rolls & George (2004), aunque en su caso existía una tendencia a un menor ROM medida mediante el *AKE* en atletas lesionados en comparación con atletas no lesionados (5,5° vs. 9,1° respectivamente) y *SKE* (9,9° vs 11,3° respectivamente). Sin embargo, aspectos metodológicos de este estudio como el número reducido de participantes, la prueba utilizada y el hecho de que todos los jugadores pertenecían a un solo club de fútbol pueden limitar la extrapolación y la comparación de sus hallazgos.

Por otra parte, la ausencia de diferencias en el ROM entre los grupos de jugadores lesionados y no lesionados también podría ser justificada por los hallazgos del estudio de Arnason et al. (2008). Estos autores describieron que, al menos en una muestra de jugadores de fútbol de élite, un programa de entrenamiento dirigido al aumento de la

flexibilidad de los isquiosurales no tuvo ningún efecto sobre la incidencia de las lesiones en esta musculatura a lo largo de una temporada. En contraste, Witvrouw et al. (2003) analizaron la flexibilidad de los isquiosurales de 146 jugadores profesionales durante la pretemporada, informando de que los jugadores que habían sufrido alguna lesión en este músculo mostraron valores significativamente más bajos de flexibilidad.

Estos resultados controvertidos entre los diferentes estudios que han abordado el estudio de la relación entre el ROM y la incidencia lesional en la musculatura isquiosural resaltan la necesidad de que se planteen nuevas investigaciones en esta línea. En este sentido será clave que futuros estudios aborden con rigurosidad distintos aspectos metodológicos claves que aseguren la calidad de la evidencia, tales como las características de la muestra, las técnicas de evaluación, la relevancia del control de las cargas de entrenamiento de fuerza y flexibilidad, así como otras variables que afectan a las lesiones de los isquiosurales (Buckthorpe et al., 2019; Henderson et al., 2010).

No obstante, sugerimos que, aunque en los datos obtenidos en nuestro estudio indiquen que el ROM de flexión de la cadera no está significativamente relacionado con la tasa de lesiones en isquiosurales, esto no es una razón suficiente para ignorar el desarrollo de los diferentes componentes de la movilidad articular (flexibilidad de la musculatura extensora de cadera, fuerza y activación de la musculatura flexora y control motor de los músculos involucrados en las sinergias y estabilización).

La naturaleza intermitente de las acciones que se producen durante un partido de fútbol (carreras cortas de alta intensidad, giros, aceleraciones, desaceleración, cambios de dirección etc.) puede llevar a una excesiva tensión muscular de la parte posterior de los miembros inferiores que afecte a la amplitud de movimiento de la cadera y resulte ser un factor de riesgo intrínseco modificable en la prevalencia de lesiones en isquiosurales (Chumanov et al., 2011; Ekstrand & Gillquist, 1982).

Además, una especialización deportiva temprana y un diseño insuficiente o ineficaz del programa de prevención de lesiones pueden llevar a la aparición de ciertas adaptaciones artromusculares a edades tempranas, como una incorrecta activación muscular y una reducción en el ROM. Y como consecuencia aumentar la incidencia de alteraciones a medio y largo plazo en la morfología del raquis del joven deportista (Muyor et al., 2012).

6.4. Magnitud de los efectos observados en el ROM y su relevancia clínica.

En relación a la magnitud de los efectos encontrados, así como su relevancia a nivel cuantitativo y cualitativo, más allá de su significatividad estadística, a continuación, pretendemos hacer una discusión final sobre como estos aspectos pueden o no tener consecuencias aplicadas sobre los procesos de entrenamiento.

En el apartado 5.1.2. se informó de que el error promedio de la medición inter observadores fue de 2°, magnitud similar a la diferencia encontrada entre los valores del ROM de la pierna dominante y la no dominante. Cabe señalar que el estricto procedimiento seguido en la formación de los evaluadores permite garantizar el alto nivel de confiabilidad de la medida, y que el error detectado es similar o, incluso algo menor al reportado por otros estudios anteriores que utilizaron mediciones directas utilizando goniometría (*gold standard*), y que informaron de errores que iban de los 3° a los 4° (Pua et al., 2008). Además, y dado el elevado tamaño de la muestra, consideramos que este error de precisión afectaría por igual a todos los participantes y condiciones experimentales, no afectando a la validez y la interpretación de la relevancia clínica de los resultados obtenidos. Por lo tanto, es poco probable que estos datos solo sean

atribuibles a la variabilidad de la medición, pudiendo representar diferencias clínicamente relevantes, aunque en este estudio no se haya podido confirmar.

De esta manera, consideramos que las diferencias estadísticamente significativas que se han encontrado en el ROM en distintas variables de nuestro estudio (e.g., asimetrías de entre 3,5° y 3,8° entre pierna dominante y no dominante en diferentes grupos de edad) pueden asociarse con aumentos en el riesgo de lesión descritos en estudios anteriores. En este sentido Bradley & Portas (2007) informaron de que aquellos jugadores que sufrieron una lesión durante la temporada mostraron valores más bajos de ROM (alrededor de 3°) en los músculos flexores de la rodilla que los jugadores no lesionados. Del mismo modo, Henderson et al. (2010), observaron que el ROM de flexión activa de cadera era más alta en la extremidad dominante que en la no dominante (3°). Además, los resultados de este último estudio muestran que por cada 1° de disminución de ROM en la prueba ASLR, las probabilidades de sufrir una lesión en el tendón de la corva aumentaron x 1,2.

A pesar de todo, sería interesante que, como se ha hecho en nuestro estudio, las investigaciones realizadas en esta área citen los errores de la medición inter e intra observador para poder tener en cuenta e interpretar con más detalle el nivel de precisión y la validez clínica de los resultados obtenido

CAPÍTULO 7
CONCLUSIONES GENERALES

Esta tesis doctoral se ha centrado en el estudio del ROM de flexión de cadera en diferentes categorías de formación, de acuerdo con su demarcación de juego y el dominio de las extremidades inferiores. Además, se ha realizado un análisis descriptivo y comparativo detallado de las lesiones de los isquiosurales durante toda la temporada regular, considerando variables como la categoría de formación, la demarcación de juego, la naturaleza de las lesiones, la tipología, la causa y el contexto de juego. Finalmente, se compara las diferencias de ROM de flexión de cadera entre los jugadores que sufren lesiones y los jugadores que no.

A continuación, pasaremos a señalar las principales conclusiones procedentes de las hipótesis planteadas y de los resultados obtenidos:

1 (H₁): Los valores de ROM de flexión activa de cadera de los participantes han mostrado ser más altos en la pierna dominante que la pierna no dominante en todas las categorías de formación.

2 (H₂): La categoría de edad formativa se ha atribuido como variable moduladora del ROM de flexión de cadera, tanto en conjunto de ambas piernas, como por separado en la pierna dominante y en la no dominante. Destacar que la categoría de edad infantil es un momento de pérdida de ROM de flexión de cadera dentro del desarrollo del jugador, puesto que, se ha encontrado una tendencia de disminución desde la categoría benjamín a infantil y después de la etapa de infantil, se produce un aumento en los valores hasta juveniles.

3 (H₃): La demarcación preferente de juego, no se ha atribuido como variable moduladora del ROM de flexión de cadera en ninguna de las categorías de formación.

4 (H₄): La categoría de formación modula la prevalencia de las lesiones en isquiosurales, mostrando tasas más altas en las categorías formativas de mayor edad.

5 (H₅): En función de la demarcación preferente de juego, son los defensas los más afectados, seguido de los delanteros y los centrocampistas, mientras que los porteros obtienen los valores más bajos de prevalencia de lesión respecto a todos los jugadores de campo.

6 (H₆): En función de la naturaleza de las lesiones, la sobrecarga muscular es la más común en todas las categorías de formación. Y las lesiones de mayor gravedad (rotura muscular) son más prevalentes en las categorías formativas de mayor edad (cadetes y juveniles).

7 (H₇): Dentro de las causas/acciones en las que se producen las lesiones en los isquiosurales, la más frecuente es durante acciones de carrera.

8 (H₈): La prevalencia de las lesiones en isquiosurales varía en función del contexto de juego, mostrando tasas más altas en competición respecto entrenamientos, siendo esta diferencia significativa en la categoría de mayor edad de formación (juveniles).

9 (H₉): El ROM durante la flexión de la cadera no parece ser un mediador independiente en las lesiones de los isquiosurales.

En su conjunto, los hallazgos de la presente tesis junto con los observados en investigaciones previas, pone de manifiesto que aunque la ROM de flexión de cadera no está significativamente relacionada con la tasa de lesiones de isquiosurales, esta no es una razón suficiente para ignorar el desarrollo de los diferentes componentes de la movilidad articular (flexibilidad de la musculatura extensora de la cadera, fuerza de la musculatura flexora y control motor de los músculos involucrados en sinergias y estabilización).

La naturaleza intermitente de las acciones y tipos de esfuerzos que ocurren durante un partido de fútbol (carreras de alta intensidad, con giros repentinos y aceleraciones o desaceleraciones, etc.) pueden desencadenar adaptaciones musculo esqueléticas como una tensión muscular excesiva (Ekstrand & Gillquist, 1982), que puede ser un factor de riesgo intrínseco en la prevalencia de lesiones musculares (Chumanov et al., 2011). Una especialización deportiva temprana y un diseño de programas de prevención de lesiones insuficiente o ineficaz pueden dar lugar a la aparición de estos problemas a edades más tempranas y podrían aumentar la incidencia de alteraciones a medio y largo plazo en la morfología del raquis (Muyor et al., 2012).

7.1. Aplicaciones prácticas.

Desde un punto de vista aplicado, los hallazgos actuales deberían alentar a los entrenadores de fútbol, preparadores físicos y científicos del deporte a implementar, desde las primeras etapas, programas preventivos, compensatorios y neuromusculares para desarrollar niveles óptimos de control motor, fuerza y extensibilidad. Además, sugerimos la inclusión de pruebas activas de valoración de ROM en jugadores de fútbol jóvenes, durante la pretemporada, para identificar jugadores con una ROM baja o descompensada, con el objetivo de prescribir un programa de entrenamiento apropiado e individualizado. Así pues, sería aconsejable que los preparadores físicos incluyan programas de ejercicios de fortalecimiento de los flexores de la cadera para evitar que se debiliten y tareas que exijan la extensibilidad activa de la musculatura posterior de la pierna para evitar la rigidez excesiva, durante las etapas formativas, especialmente previo y durante la edad del pico de velocidad de crecimiento. Por otro lado, debido a que existe una mayor incidencia de lesiones en los isquiosurales en los grupos de más edad, sería conveniente para los responsables del acondicionamiento físico priorizar las tareas de prevención durante las sesiones de entrenamiento. En este sentido, los ejercicios de entrenamiento de acciones musculares excéntricas de los isquiosurales, combinados con estiramientos parecen ser una buena opción para prevenir lesiones en este grupo muscular en jugadores de fútbol adultos (Arnason et al., 2008). Estas iniciativas podrían ayudar a reducir la magnitud de la pérdida de ROM en edades posteriores, contribuyendo a la reducción de los factores de riesgo y mejorando el desarrollo de las habilidades tácticas y físicas del jugador de fútbol.

7.2. Limitaciones del estudio y futuras líneas.

Tras la experiencia acumulada durante la presente tesis y las dificultades planteadas durante la misma, a continuación se detallan las principales limitaciones del estudio junto a las propuestas de futuras líneas que traten de mejorar las mismas y la calidad de las evidencias extraídas de la presente tesis:

En primer lugar, no fue posible recopilar datos precisos para determinar la exposición al tiempo de juego, y por lo tanto no se pudo proporcionar un análisis cuantitativo del riesgo y la incidencia de las lesiones (número de lesiones por horas de exposición). Así pues, en futuras investigaciones resultaría altamente interesante desarrollar este tipo de estudios epidemiológico con un mayor control del tiempo de exposición al juego, registrando de forma precisa los tiempos de exposición tanto a los entrenamientos como a los partidos, tanto de cada equipo como de cada jugador. De modo que se puedan relacionar adecuadamente el volumen de exposición con las lesiones sufridas posteriormente.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta que las lesiones ocurridas fueron digitalizadas posteriormente a su ocurrencia, pudiendo haberse perdido cierta información relevante, sobre todo en lo que respecta a las lesiones menos graves. Por lo tanto, en futuras líneas de investigación también resultaría importante precisar la información de los mecanismos y causas de producción mediante análisis de videos, con el objetivo de recoger información más precisa sobre todas las variables de la lesión en concreto y poder llegar a conclusiones más determinantes.

En tercer lugar, la maduración biológica y el desarrollo diferencial del tamaño corporal relacionado con el crecimiento entre categorías de edad formativa no se controló

específicamente en este estudio. No se tuvo en cuenta las características de maduración individuales (es una de las razones del efecto relativo de la edad observado en el fútbol en estas y en edades posteriores), únicamente la edad cronológica, siendo la forma en que se forman los equipos en el contexto de la presente investigación. Por ello, en estudios posteriores sería interesante considerar el índice de maduración para profundizar en el conocimiento de las bases teóricas y las implicaciones prácticas de nuestros resultados. Para este estudio, se necesita más tiempo para evaluar a los jugadores y determinar su etapa de maduración individual (rayos X, antropometría, etc.) y debido al gran tamaño de la muestra y al nivel de rendimiento de los equipos que colaboraron, el tiempo no permitió realizar pruebas físicas más detalladas.

En cuarto lugar, otro de los puntos más importantes a tener en cuenta en la presente tesis es el posicionamiento de los marcadores virtuales con Kinovea y no visuales como se suele hacer. El motivo por el cual el uso de marcadores visuales no era factible fue: a) Debido a la cuestión ética y limitaciones solicitadas, tanto de los clubes como de los padres con respecto a la filmación de menores desnudos con marcadores colocados. b) No haber podido colocar marcadores en su ropa holgada porque el movimiento del marcador en relación con la articulación habría sido inaceptable. c) La limitación de tiempo disponible para llevar a cabo las sesiones de medición, debido al gran tamaño de la muestra y el tiempo limitado otorgado por parte de los clubes. En este sentido, futuros estudios deberían interesarse en confirmar los presentes resultados replicando las mismas variables de estudio, pero con los sistemas de medición de referencia o “*gold standard*” (goniómetro y marcadores visuales sobre los puntos articulares).

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(2), 61-67.

Abade, E. A., Gonçalves, B. V., Leite, N. M., & Sampaio, J. E. (2014). Time-motion and physiological profile of football training sessions performed by under-15, under-17 and under-19 elite Portuguese players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 463-470. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0120>

Adams, G. R., Duvoisin, M. R., & Dudley, G. A. (1992). Magnetic resonance imaging and electromyography as indexes of muscle function. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 73(4), 1578-1583. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.4.1578>

Adams, K., O'Shea, P., & O'Shea, K. L. (1999). Aging: Its Effects on Strength, Power, Flexibility, and Bone Density. *Strength & Conditioning Journal*, 21(2), 65.

Alesi, M., Bianco, A., Padulo, J., Luppina, G., Petrucci, M., Paoli, A., Palma, A., & Pepi, A. (2015). Motor and cognitive growth following a Football Training Program. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01627>

Alvarez, J., Mallén, J. A., & Virón, P. C. (2003). Práctica del Fútbol, Evolución de Parámetros Cineantropométricos y Diferentes Aspectos de la Condición Física en Edades Escolares. *Apunts: Educación física y deportes*, 72(2), 28-34.

Alves, B. M., Silva Jr., Rosa, L. M., Mesquita, T. R. de, Oliveira, P. R. de, Burigo, R. L., & Amorim, C. F. (2018). Análisis del control postural durante tarea controlada del tiro en atletas de fútbol. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 24(2), 89-96. <https://doi.org/10.1590/1517-869220182402181470>

Araújo, C. G. (2008). Flexibility assessment: Normative values for flexitest from 5 to 91 years of age. *Arquivos Brasileiros De Cardiologia*, 90(4), 257-263. <https://doi.org/10.1590/s0066-782x2008000400008>

Arnason, A., Andersen, T., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: An intervention study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(1), 40-48. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x>

Askling, C., Karlsson, J., & Thorstensson, A. (2003). Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(4), 244-250.

Askling, C., Nilsson, J., & Thorstensson, A. (2010). A new hamstring test to complement the common clinical examination before return to sport after injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 18(12), 1798-1803. <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1265-3>

Askling, C., Tengvar, M., Saartok, T., & Thorstensson, A. (2008). Proximal hamstring strains of stretching type in different sports: Injury situations, clinical and magnetic resonance imaging characteristics, and return to sport. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(9), 1799-1804. <https://doi.org/10.1177/0363546508315892>

Ayala, F., & Sainz de Baranda, P. (2010). Efecto agudo del estiramiento sobre el sprint en jugadores de fútbol de división de honor juvenil. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 6(18), 1-12. <https://doi.org/10.5232/ricyde2010.01801>

Ayala, F., Sainz de Baranda, P., De Ste Croix, M., & Santonja, F. (2012). Absolute reliability of five clinical tests for assessing hamstring flexibility in professional futsal players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(2), 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.10.002>

Bale, P., Mayhew, J. L., Piper, F. C., Ball, T. E., & Willman, M. K. (1992). Biological and performance variables in relation to age in male and female adolescent athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32(2), 142-148.

Balsalobre, C., Tejero, C., del Campo, J., & Bavaresco, N. (2014). The Concurrent Validity and Reliability of a Low-Cost, High-Speed Camera-Based Method for Measuring the Flight Time of Vertical Jumps: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(2), 528-533. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318299a52e>

Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>

Battermann, N., Appell, H. J., Dargel, J., & Koebeke, J. (2011). An anatomical study of the proximal hamstring muscle complex to elucidate muscle strains in this region. *International Journal of Sports Medicine*, 32(3), 211-215. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1268011>

Baumert, P., Lake, M. J., Stewart, C. E., Drust, B., & Erskine, R. M. (2016). Genetic variation and exercise-induced muscle damage: Implications for athletic performance, injury and ageing. *European Journal of Applied Physiology*, 116(9), 1595-1625. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3411-1>

Behringer, M., Vom Heede, A., Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23(2), 186-206.

Benavent, J., Tella, V., González-Millan, I., & Colado, J. C. (2008). Comparison of different field tests for the evaluation of the general active flexibility. *Fitness & Performance Journal (Online Edition)*, 7(1), 26-29.

Bengtsson, H., Ekstrand, J., Waldén, M., & Hägglund, M. (2018). Muscle injury rate in professional football is higher in matches played within 5 days since the previous match: A 14-year prospective study with more than 130 000 match observations. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(17), 1116-1122. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097399>

Bennell, K., Tully, E., & Harvey, N. (1999). Does the toe-touch test predict hamstring injury in Australian Rules footballers? *The Australian Journal of Physiotherapy*, *45*(2), 103-109.

Beunen, G., & Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *16*, 503-540.

Bidaurrazaga-Letona, I., Lekue, J. A., Amado, M., Santos-Concejero, J., & Gil, S. M. (2015). Identifying talented young soccer players: Conditional, anthropometrical and physiological characteristics as predictors of performance. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, *XI*(39), 79-95.

Bieć, E., Giemza, C., & Kuczyński, M. (2015). Changes in postural control between 13- and 19-year-old soccer players: Is there a need for a specific therapy? *Journal of Physical Therapy Science*, *27*(8), 2555-2557. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2555>

Birrer, R. B., & Levine, R. (1987). Performance parameters in children and adolescent athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *4*(3), 211-227. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704030-00005>

Bittencourt, N. F., Meeuwisse, W. H., Mendonça, L. D., Nettel-Aguirre, A., Ocarino, J. M., & Fonseca, S. T. (2016). Complex systems approach for sports injuries: Moving from risk factor identification to injury pattern recognition—narrative review and new concept. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(21), 1309-1314. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095850>

Blache, Y., & Monteil, K. (2012). Contralateral strength imbalance between dominant and non-dominant lower limb in soccer players. *Science & Sports*, *27*(3), e1-e8. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.08.002>

Borges, P. H., Andrade, M. O., Rechenchosky, L., Costa, I. T. da, Teixeira, D., & Rinaldi, W. (2017). Tactical performance, anthropometry and physical fitness in young soccer players: A comparison between different maturational groups. *Journal of Physical Education*, *28*, e2826. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v28i1.2826>

Borghuis, A. J., Lemmink, K. A., & Hof, A. L. (2011). Core muscle response times and postural reactions in soccer players and nonplayers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(1), 108-114. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e93492>

Referencias bibliográficas

- Borghuis, A. J., Hof, A. L., & Lemmink, K. A. (2008). The importance of sensory-motor control in providing core stability: Implications for measurement and training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(11), 893-916. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838110-00002>
- Borms, J., Van Roy, P., Santens, J. P., & Haentjens, A. (1987). Optimal duration of static stretching exercises for improvement of coxo-femoral flexibility. *Journal of Sports Sciences*, 5(1), 39-47. <https://doi.org/10.1080/02640418708729762>
- Bowen, L., Gross, A., Gimpel, M., & Li, F. X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452-459. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095820>
- Bradley, P., & Portas, M. (2007). The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1155-1159. <https://doi.org/10.1519/R-20416.1>
- Brandser, E. A., el-Khoury, G. Y., Kathol, M. H., Callaghan, J. J., & Tearse, D. S. (1995). Hamstring injuries: Radiographic, conventional tomographic, CT, and MR imaging characteristics. *Radiology*, 197(1), 257-262. <https://doi.org/10.1148/radiology.197.1.7568833>
- Brasileiro, J., Faria, A., & Queiroz, L. (2007). Influência do resfriamento e do aquecimento local na flexibilidade dos músculos isquiotibiais. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 11(1), 57-61. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100010>
- Brown, K. A., Patel, D. R., & Darmawan, D. (2017). Participation in sports in relation to adolescent growth and development. *Translational Pediatrics*, 6(3), 150-159. <https://doi.org/10.21037/tp.2017.04.03>
- Bruno, P. (2017). Developing clinical procedures to diagnose specific motor control impairments associated with low back pain: Prone hip extension (PHE), active straight leg raise (ASLR), and gait variability. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 61(3), 207-211.
- Buckthorpe, M., Wright, S., Bruce-Low, S., Nanni, G., Sturdy, T., Gross, A. S., Bowen, L., Styles, B., Villa, S. D., Davison, M., & Gimpel, M. (2019). Recommendations for hamstring injury prevention in elite football: Translating research into practice. *British Journal of Sports Medicine*, 53(7), 449-456. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099616>
- Cabello, E. N., Hernández, D. C., Márquez, G. T., González, C. G., Navandar, A., & González, S. V. (2015). Revisión de los factores de riesgo de la lesión de isquiotibiales en fútbol. Un enfoque biomecánico. *European Journal of Human Movement*, 34(0), 52-74.

Calahorro, F., Zagalaz, M. L., Lara, A. J., & Torres, G. (2012). Análisis de la condición física en jóvenes jugadores de fútbol en función de la categoría de formación y del puesto específico. *Apunts Educació Física i Esports*, 109(3), 54-62. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2012/3\).109.05](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2012/3).109.05)

Cameron, M., Adams, R., & Maher, C. (2003). Motor control and strength as predictors of hamstring injury in elite players of Australian football. *Physical Therapy in Sport*, 4(4), 159-166. [https://doi.org/10.1016/S1466-853X\(03\)00053-1](https://doi.org/10.1016/S1466-853X(03)00053-1)

Carlson, B. M. (2019). Chapter 5—The Muscular System. En B. M. Carlson (Ed.), *The Human Body* (pp. 111-136). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804254-0.00005-3>

Carrere, M. T. (2010). Biomecánica clínica. Fuerza, trabajo y potencia muscular. *REDUCA (Enfermería, Fisioterapia y Podología)*, 2(3), 74-89. <http://www.revistareduca.es/index.php/reduca-enfermeria/article/view/275>

Casamichana, D., & Castellano, J. (2010). Time–motion, heart rate, perceptual and motor behaviour demands in small-sides soccer games: Effects of pitch size. *Journal of Sports Sciences*, 28(14), 1615-1623. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.521168>

Cejudo, A., Robles, F. J., Ayala, F., De Ste Croix, M., Ortega-Toro, E., Santonja, F., & Sainz de Baranda, P. (2019). Age-related differences in flexibility in soccer players 8-19 years old. *PeerJ*, 7, e6236. <https://doi.org/10.7717/peerj.6236>

Cejudo, A., Sainz de Baranda, P., Ayala, F., & Santonja, F. (2015). Test-retest reliability of seven common clinical tests for assessing lower extremity muscle flexibility in futsal and handball players. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 16(2), 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2014.05.004>

Chahla, J., Sherman, B., Cinque, M., Miranda, A., Garrett, W. E., Chiampas, G., O'Malley, H., Gerhardt, M. B., & Mandelbaum, B. R. (2018). Epidemiological Findings of Soccer Injuries During the 2017 Gold Cup. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(8). <https://doi.org/10.1177/2325967118791754>

Chan, O., Del Buono, A., Best, T. M., & Maffulli, N. (2012). Acute muscle strain injuries: A proposed new classification system. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 20(11), 2356-2362. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2118-z>

Chandler, T. J., Kibler, W. B., Uhl, T. L., Wooten, B., Kiser, A., & Stone, E. (1990). Flexibility comparisons of junior elite tennis players to other athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 18(2), 134-136. <https://doi.org/10.1177/036354659001800204>

Charcharis, G., Mersmann, F., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2019). Morphological and Mechanical Properties of the Quadriceps Femoris Muscle-Tendon Unit From Adolescence to Adulthood: Effects of Age and Athletic Training. *Frontiers in Physiology*, *10*, 1082. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01082>

Chelly, M. S., Chérif, N., Amar, M. B., Hermassi, S., Fathloun, M., Bouhlel, E., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Relationships of peak leg power, 1 maximal repetition half back squat, and leg muscle volume to 5-m sprint performance of junior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(1), 266-271. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c3b298>

Chew-Bullock, T. S., Anderson, D. I., Hamel, K. A., Gorelick, M. L., Wallace, S. A., & Sidaway, B. (2012). Kicking performance in relation to balance ability over the support leg. *Human Movement Science*, *31*(6), 1615-1623. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.07.001>

Chumanov, E. S., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2011). Hamstring musculotendon dynamics during stance and swing phases of high-speed running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(3), 525-532. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181f23fe8>

Chumanov, E. S., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2007). The effect of speed and influence of individual muscles on hamstring mechanics during the swing phase of sprinting. *Journal of Biomechanics*, *40*(16), 3555-3562. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2007.05.026>

Chumanov, E. S., Schache, A. G., Heiderscheit, B. C., & Thelen, D. G. (2012). Hamstrings are most susceptible to injury during the late swing phase of sprinting. *British Journal of Sports Medicine*, *46*(2), 90. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090176>

Cloke, D., Moore, O., Shab, T., Rushton, S., Shirley, M., & Deehan, D. (2012). Thigh Muscle Injuries in Youth Soccer: Predictors of Recovery. *American Journal of Sports Medicine*, *40*(2), 433-439.

Cohen, S. B., Towers, J. D., Zoga, A., Irrgang, J. J., Makda, J., Deluca, P. F., & Bradley, J. P. (2011). Hamstring Injuries in Professional Football Players. *Sports Health*, *3*(5), 423-430. <https://doi.org/10.1177/1941738111403107>

Cometti, G. (2002). *La preparación física en el fútbol* (1ª ed). Barcelona: Paidotribo.

Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(1), 173-177. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8c7>

Condello, G., Kernozek, T. W., Tessitore, A., & Foster, C. (2016). Biomechanical Analysis of a Change-of-Direction Task in Collegiate Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(1), 96-101. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0458>

Connor, S. O., McCaffrey, N., Whyte, E., & Moran, K. (2015). Reliability of a Modified Active Knee Extension Test for Assessment of Hamstring Flexibility. *International Journal of Athletic Therapy & Training*, 20(4), 32-36.

Corazza, A., Orlandi, D., Baldari, A., Gatto, P., Stellatelli, M., Mazzola, C., Galli, R., Longo, S., Sconfienza, L. M., & Silvestri, E. (2014). Thigh muscles injuries in professional soccer players: A one year longitudinal study. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 3(4), 331-336.

Cowan, S. M., Schache, A. G., Brukner, P., Bennell, K. L., Hodges, P. W., Coburn, P., & Crossley, K. M. (2004). Delayed onset of transversus abdominus in long-standing groin pain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2040-2045. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000147587.81762.44>

Croisier J. L. (2004). Factors associated with recurrent hamstring injuries. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34(10), 681-695. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434100-00005>

Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008). Strength Imbalances and Prevention of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(8), 1469-1475. <https://doi.org/10.1177/0363546508316764>

Croix, M. (2007). Advances in paediatric strength assessment: Changing our perspective on strength development. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(3), 292-304.

Cuthbert, M., Ripley, N., McMahon, J. J., Evans, M., Haff, G. G., & Comfort, P. (2020). The Effect of Nordic Hamstring Exercise Intervention Volume on Eccentric Strength and Muscle Architecture Adaptations: A Systematic Review and Meta-analyses. *Sports Medicine*, 50(1), 83-99.

Dadebo, B. (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 388-394. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.000044>

Dalton, S., Kerr, Z., & Dompier, T. (2015). Epidemiology of Hamstring Strains in 25 NCAA Sports in the 2009-2010 to 2013-2014 Academic Years. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11), 2671-2679. <https://doi.org/10.1177/0363546515599631>

Daneshjoo, A., Rahnama, N., Mokhtar, A. H., & Yusof, A. (2013). Bilateral and unilateral asymmetries of isokinetic strength and flexibility in male young professional soccer players. *Journal of Human Kinetics*, *36*, 45-53. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0005>

Dauty, M., Menu, P., Fouasson-Chailloux, A., Ferréol, S., & Dubois, C. (2016). Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, *6*(1), 116-123. <https://doi.org/10.11138/mltj/2016.6.1.116>

de Hoyo, M., Naranjo-Orellana, J., Carrasco, L., Sañudo, B., Jiménez-Barroca, J. J., & Domínguez-Cobo, S. (2013). Revisión sobre la lesión de la musculatura isquiotibial en el deporte: Factores de riesgo y estrategias para su prevención. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, *6*(1), 30-37.

Oliveira, L. P., Vieira, L., Aquino, R., Manechini, J., Santiago, P., & Puggina, E. F. (2018). Acute Effects of Active, Ballistic, Passive, and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Sprint and Vertical Jump Performance in Trained Young Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, *32*(8), 2199–2208. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002298>

de Visser, H., Reijman, M., Heijboer, M., & Bos, P. (2012). Risk factors of recurrent hamstring injuries: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, *46*(2), 124-130. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090317>

Decoster, L. C., Cleland, J., Altieri, C., & Russell, P. (2005). The effects of hamstring stretching on range of motion: A systematic literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, *35*(6), 377-387. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.6.377>

Degache, F., Richard, R., Edouard, P., Oullion, R., & Calmels, P. (2010). The relationship between muscle strength and physiological age: A cross-sectional study in boys aged from 11 to 15. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *53*(3), 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.02.001>

Delos, D., Maak, T. G., & Rodeo, S. A. (2013). Muscle Injuries in Athletes. *Sports Health*, *5*(4), 346-352. <https://doi.org/10.1177/1941738113480934>

Deprez, D. N., Fransen, J., Lenoir, M., Philippaerts, R. M., & Vaeyens, R. (2015). A retrospective study on anthropometrical, physical fitness, and motor coordination characteristics that influence dropout, contract status, and first-team playing time in high-level soccer players aged eight to eighteen years. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(6), 1692-1704. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000806>

Di Salvo, V., Benito, P. J., Calderón, F. J., Di Salvo, M., & Pigozzi, F. (2008). Activity profile of elite goalkeepers during football match-play. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *48*(4), 443-446.

Douda, H. T., Toubekis, A. G., Avloniti, A. A., & Tokmakidis, S. P. (2008). Physiological and anthropometric determinants of rhythmic gymnastics performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 41-54.

Duchateau, J., & Enoka, R. M. (2016). Neural control of lengthening contractions. *The Journal of Experimental Biology*, 219(Pt 2), 197-204. <https://doi.org/10.1242/jeb.123158>

Dvorak, J., & Junge, A. (2000). Football injuries and physical symptoms. A review of the literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S3-9.

Ekstrand, J., & Gillquist, J. (1982). The frequency of muscle tightness and injuries in soccer players. *The American Journal of Sports Medicine*, 10(2), 75-78. <https://doi.org/10.1177/036354658201000202>

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 45(7), 553-558. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.060582>

Ekstrand, J., Askling, C., Magnusson, H., & 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(12), 769-774. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-092092>

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011). Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *The American Journal of Sports Medicine*, 39(6), 1226-1232. <https://doi.org/10.1177/0363546510395879>

Ekstrand, J., Waldén, M., & Hägglund, M. (2016). Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: A 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 731-737. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095359>

Engebretsen, A. H., Myklebust, G., Holme, I., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2010). Intrinsic risk factors for hamstring injuries among male soccer players: A prospective cohort study. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(6), 1147-1153. <https://doi.org/10.1177/0363546509358381>

Enoka, R. M. (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 81(6), 2339-2346. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.6.2339>

Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J. R., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: Updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5 Suppl), S60-79. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31819df407>

Referencias bibliográficas

Feher, J. (2017). 3.4-Skeletal Muscle Mechanics. En J. Feher (Ed.), *Quantitative Human Physiology (Second Edition)* (pp. 292-304). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800883-6.00027-6>

Feldman, D., Shrier, I., Rossignol, M., & Abenhaim, L. (1999). Adolescent growth is not associated with changes in flexibility. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 9(1), 24-29.

Fernandes, T. L., Pedrinelli, A., & Hernandez, A. J. (2015). MUSCLE INJURY – PHYSIOPATHOLOGY, DIAGNOSIS, TREATMENT AND CLINICAL PRESENTATION. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 46(3), 247-255. [https://doi.org/10.1016/S2255-4971\(15\)30190-7](https://doi.org/10.1016/S2255-4971(15)30190-7)

FIFA. (2006). *FIFA big count 2006: 270 million people active in football*. FIFA. <http://www.fifa.com/aboutfifa/media/newsid=529882.html>

Fiorentino, N. M., & Blemker, S. S. (2014). Musculotendon variability influences tissue strains experienced by the biceps femoris long head muscle during high-speed running. *Journal of Biomechanics*, 47(13), 3325-3333. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.08.010>

Flores, D. V., Mejía, C., Estrada-Castrillón, M., Smitaman, E., & Pathria, M. N. (2018). MR Imaging of Muscle Trauma: Anatomy, Biomechanics, Pathophysiology, and Imaging Appearance. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 38(1), 124-148. <https://doi.org/10.1148/rg.2018170072>

Forsman, H., Gråstén, A., Blomqvist, M., Davids, K., Liukkonen, J., & Kontinen, N. (2016). Development of perceived competence, tactical skills, motivation, technical skills, and speed and agility in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 34(14), 1311-1318. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1127401>

Fort-Vanmeerhaeghe, A., & Romero, D. (2013). Rol del sistema sensoriomotor en la estabilidad articular durante las actividades deportivas. *Apunts Sports Medicine*, 48(178), 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2012.09.002>

Fort-Vanmeerhaeghe, A., Montalvo, A. M., Sitjà-Rabert, M., Kiefer, A. W., & Myer, G. D. (2015). Neuromuscular asymmetries in the lower limbs of elite female youth basketball players and the application of the skillful limb model of comparison. *Physical Therapy in Sport: Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 16(4), 317-323. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2015.01.003>

Fousekis, K., Tsepis, E., Poulmedis, P., Athanasopoulos, S., & Vagenas, G. (2011). Intrinsic risk factors of non-contact quadriceps and hamstring strains in soccer: A prospective study of 100 professional players. *British Journal of Sports Medicine*, 45(9), 709-714. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.077560>

Fousekis, K., Tsepis, E., & Vagenas, G. (2010). Lower limb strength in professional soccer players: Profile, asymmetry, and training age. *Journal of sports science & medicine*, 9(3), 364–373.

Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8, 447. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>

Frank, J., Jarit, G., Bravman, J., & Rosen, J. (2007). Lower extremity injuries in the skeletally immature athlete. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15(6), 356-366.

Freckleton, G., Cook, J., & Pizzari, T. (2014). The predictive validity of a single leg bridge test for hamstring injuries in Australian Rules Football Players. *British Journal of Sports Medicine*, 48(8), 713-717. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092356>

Freckleton, G., & Pizzari, T. (2013). Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*, 47(6), 351-358. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090664>

Frederiksen, H., & Christensen, K. (2003). The influence of genetic factors on physical functioning and exercise in second half of life. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(1), 9-18. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2003.20219.x>

Fredriksen, H., Dagfinrud, H., Jacobsen, V., & Maehlum, S. (1997). Passive knee extension test to measure hamstring muscle tightness. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 7(5), 279-282.

Fukuhara, T., Sakamoto, M., Nakazawa, R., Kato, K., Kawagoe, M., & Oosawa, H. (2010). Effects of Stretching Guidance for Adolescent Soccer Players. *Rigakuryoho Kagaku*, 25(6), 861-865.

Fuller, C., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T., Bahr, R., Dvorak, J., Hägglund, M., McCrory, P., & Meeuwisse, W. H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 40(3), 193-201. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.025270>

Fyfe, J. J., Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2013). The role of neuromuscular inhibition in hamstring strain injury recurrence. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(3), 523-530. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.12.006>

Gabbe, B. J., Finch, C. F., Bennell, K. L., & Wajswelner, H. (2005). Risk factors for hamstring injuries in community level Australian football. *British Journal of Sports Medicine*, 39(2), 106-110. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.011197>

Gajdosik, R. L., Hallett, J. P., & Slaughter, L. L. (1994). Passive insufficiency of two-joint shoulder muscles. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 9(6), 377-378. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(94\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0268-0033(94)90069-8)

Gajdosik, R. L., Rieck, M. A., Sullivan, D. K., & Wightman, S. E. (1993). Comparison of four clinical tests for assessing hamstring muscle length. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 18(5), 614-618. <https://doi.org/10.2519/jospt.1993.18.5.614>

Tokutake, G & Kuramochi, R. (2020). Association of Hamstring Strain Injuries with Season and Temperature in Track and Field Collegiate Athletes in Japan: A Descriptive Epidemiological Study. *Asian Journal of Sports Medicine*, 11(1), 1-6.

García, J. M., Campos, J., Lizaur, P., & Pablos, C. (2003). *El talento deportivo: Formación de élites deportivas*. Madrid: Gymnos.

García-Pinillos, F., Ruiz-Ariza, A., Moreno del Castillo, R., & Latorre-Román, P. Á. (2015). Impact of limited hamstring flexibility on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility in young football players. *Journal of Sports Sciences*, 33(12), 1293-1297. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022577>

García-Pinillos, F, Ruiz-Ariza, A., Navarro-Martínez, A. V., & Latorre-Román, P. A. (2014). Análisis del rendimiento en salto vertical, agilidad, velocidad y velocidad de golpeo en jóvenes futbolistas: Influencia de la edad. *Apunts Sports Medicine*, 49(183), 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2014.05.002>

Gianikellis, K., Gazapo, A. V., García, A. B., & Cruz, J. R. (2003). Análisis biomecánico para determinar la intervención muscular en los estiramientos balísticos. *European Journal of Human Movement*, 10(0), 85-98. <https://recyt.fecyt.es/index.php/ejhm/article/view/56163>

Gidwani, S., Jagiello, J., & Bircher, M. (2004). Avulsion fracture of the ischial tuberosity in adolescents—An easily missed diagnosis. *BMJ: British Medical Journal*, 329(7457), 99-100.

Gleim, G. W., & McHugh, M. P. (1997). Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 24(5), 289-299.

Granacher, U., Goesele, A., Roggo, K., Wischer, T., Fischer, S., Zuerny, C., Gollhofer, A., & Kriemler, S. (2011). Effects and mechanisms of strength training in children. *International Journal of Sports Medicine*, 32(5), 357-364. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271677>

Gray, S. C., Devito, G., & Nimmo, M. A. (2002). Effect of active warm-up on metabolism prior to and during intense dynamic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 2091-2096. <https://doi.org/10.1097/00005768-200212000-00034>

Greig, M. (2008). The Influence of Soccer-Specific Fatigue on Peak Isokinetic Torque Production of the Knee Flexors and Extensors. *The American Journal of Sports Medicine*, 36(7), 1403-1409. <https://doi.org/10.1177/0363546508314413>

Grigg, J., Haakonssen, E., Rathbone, E., Orr, R., & Keogh, J. (2018). The validity and intra-tester reliability of markerless motion capture to analyse kinematics of the BMX Supercross gate start. *Sports Biomechanics*, 17(3), 383-401. <https://doi.org/10.1080/14763141.2017.1353129>

Grosset, J. F., Mora, I., Lambertz, D., & Pérot, C. (2007). Changes in stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 102(6), 2352-2360. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01045.2006>

Guariglia, D. A., Pereira, L. M., Dias, J. M., Pereira, H. M., Menacho, M. O., Silva, D. A., Cyrino, E. S., & Cardoso, J. R. (2011). Time-of-day effect on hip flexibility associated with the modified sit-and-reach test in males. *International Journal of Sports Medicine*, 32(12), 947-952. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1283182>

Hadjicharalambous, M. (2016). The effects of regular supplementary flexibility training on physical fitness performance of young high-level soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(6), 699-708.

Hägglund, 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(2), 327-335. <https://doi.org/10.1177/0363546512470634>

Hansen, L., Bangsbo, J., Twisk, J., & Klausen, K. (1999). Development of muscle strength in relation to training level and testosterone in young male soccer players. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 87(3), 1141-1147. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1141>

Harley, J., Barnes, C., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 28(13), 1391-1397. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510142>

Hart, N. H., Nimphius, S., Spiteri, T., & Newton, R. U. (2014). Leg strength and lean mass symmetry influences kicking performance in Australian Football. *Journal of sports science & medicine*, 13(1), 157-165.

Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J., & Seiler, S. (2014). The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(3), 432-441. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0121>

Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: An audit of injuries in professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 35(1), 43-47. <https://doi.org/10.1136/bjism.35.1.43>

Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *International Journal of Sports Medicine*, 32(9), 677-682. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275742>

Henderson, G., Barnes, C., & Portas, M. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.08.003>

Hernández, J. D., Huelva, A. B., Martínez, J. M., Lahoz, M. D., & Vázquez, J. (2018). Peak height velocity and muscle mass in young soccer players. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 22(3), 219-226. <https://doi.org/10.14306/renhyd.22.3.468>

Herzog, W., Powers, K., Johnston, K., & Duvall, M. (2015). A new paradigm for muscle contraction. *Frontiers in Physiology*, 6, 174. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00174>

Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A., & Spears, I. (2008). Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(12), 995-1008. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00004>

Hicheur, H., Chauvin, A., Chassot, S., Chenevière, X., & Taube, W. (2017). Effects of age on the soccer-specific cognitive-motor performance of elite young soccer players: Comparison between objective measurements and coaches' evaluation. *PLoS ONE*, 12(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185460>

Hides, J. A., & Stanton, W. R. (2014). Can motor control training lower the risk of injury for professional football players? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(4), 762-768. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000169>

Higashihara, A., Nagano, Y., Ono, T., & Fukubayashi, T. (2018). Differences in hamstring activation characteristics between the acceleration and maximum-speed phases of sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 36(12), 1313-1318. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1375548>

Hodgson, C., Akenhead, R., & Thomas, K. (2014). Time-motion analysis of acceleration demands of 4v4 small-sided soccer games played on different pitch sizes. *Human Movement Science*, 33, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.002>

Hody, S., Croisier, J. L., Bury, T., Rogister, B., & Leprince, P. (2019). Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Frontiers in Physiology*, *10*, 536. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00536>

Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *34*(3), 165-180. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434030-00003>

Howell, J. N., Fuglevand, A. J., Walsh, M. L., & Bigland-Ritchie, B. (1995). Motor unit activity during isometric and concentric-eccentric contractions of the human first dorsal interosseus muscle. *Journal of Neurophysiology*, *74*(2), 901-904. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.74.2.901>

Hu, H., Meijer, O., Hodges, P., Bruijn, S., Strijers, R., Nanayakkara, P., van Royen, B., Wu, W., Xia, C., & van Dieën, J. H. (2012). Understanding the Active Straight Leg Raise (ASLR): An electromyographic study in healthy subjects. *Manual Therapy*, *17*(6), 531-537. <https://doi.org/10.1016/j.math.2012.05.010>

Hu, H., Meijer, O., van Dieën, J., Hodges, P., Bruijn, S., Strijers, R., Nanayakkara, P., van Royen, B., Wu, W., & Xia, C. (2011). Is the psoas a hip flexor in the active straight leg raise? *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, *20*(5), 759-765. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1508-5>

Illera-Domínguez, V., Nuell, S., Carmona, G., Padullés, J. M., Padullés, X., Lloret, M., Cussó, R., Alomar, X., & Cadefau, J. A. (2018). Early Functional and Morphological Muscle Adaptations During Short-Term Inertial-Squat Training. *Frontiers in Physiology*, *9*, 1265. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01265>

Ingraham, S. J. (2003). The role of flexibility in injury prevention and athletic performance: Have we stretched the truth? *Minnesota Medicine*, *86*(5), 58-61.

Ivanenko, Y., & Gurfinkel, V. S. (2018). Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*, *12*, 171. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00171>

Ivarsson, A., Johnson, U., Andersen, M. B., Tranaeus, U., Stenling, A., & Lindwall, M. (2017). Psychosocial Factors and Sport Injuries: Meta-analyses for Prediction and Prevention. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *47*(2), 353-365. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0578-x>

Jayanthi, N., Pinkham, C., Dugas, L., Patrick, B., & LaBella, C. (2013). Sports Specialization in Young Athletes. *Sports Health*, *5*(3), 251-257. <https://doi.org/10.1177/1941738112464626>

John, C., Rahlf, A. L., Hamacher, D., & Zech, A. (2019). Influence of biological maturity on static and dynamic postural control among male youth soccer players. *Gait & Posture*, *68*, 18-22.

Referencias bibliográficas

Junge, A., & Dvořák, J. (2015). Football injuries during the 2014 FIFA World Cup. *British Journal of Sports Medicine*, 49(9), 599-602. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094469>

Junge, A., Dvorak, J., & Graf-Baumann, T. (2004). Football injuries during the World Cup 2002. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(1 Suppl), 23S-7S. <https://doi.org/10.1177/0363546503261246>

Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., & Fukunaga, T. (1994). Strength and cross-sectional area of knee extensor muscles in children. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(5), 402-405. <https://doi.org/10.1007/bf00843736>

Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N., & Fukunaga, T. (1995). Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *International Journal of Sports Medicine*, 16(1), 54-60. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972964>

Kapandji, A. I. (2010). *Fisiología Articular* (6.ª ed., Vol. 2). Médica Panamericana.

Keiner, M., Sander, A., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2014). Long-term strength training effects on change-of-direction sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 223-231. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318295644b>

Kellis, E., Galanis, N., Kapetanios, G., & Natsis, K. (2012). Architectural differences between the hamstring muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 22(4), 520-526. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.03.012>

Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(3), 189-198. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636030-00001>

Kokstajn, J., Musalek, M., Wolanski, P., Murawska-Cialowicz, E., & Stastny, P. (2019). Fundamental Motor Skills Mediate the Relationship Between Physical Fitness and Soccer-Specific Motor Skills in Young Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 10, 596. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00596>

Konin, J. G., & Jessee, B. (2012). Range of Motion and Flexibility. En J. R. Andrews, G. L. Harrelson, & K. E. Wilk (Eds.), *Physical Rehabilitation of the Injured Athlete (Fourth Edition)* (pp. 74-88). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2411-0.00006-X>

Kraemer, W. J., Fry, A. C., Frykman, P. N., Conroy, B., & Hoffman, J. (1989). Resistance Training and Youth. *Pediatric Exercise Science*, 1(4), 336-350. <https://doi.org/10.1123/pes.1.4.336>

Krivickas, L. S., & Feinberg, J. H. (1996). Lower extremity injuries in college athletes: Relation between ligamentous laxity and lower extremity muscle tightness. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77(11), 1139-1143. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(96\)90137-9](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(96)90137-9)

Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2001). Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *International Journal of Sports Medicine*, 22(2), 138-143. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11337>

Lambertz, D., Mora, I., Grosset, J. F., & Perot, C. (2003). Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 95(1), 64-72. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00885.2002>

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.

Lardner, R. (2001). Stretching and flexibility: Its importance in rehabilitation. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 5(4), 254-263. <https://doi.org/10.1054/jbmt.2001.0241>

Le Gall, F., Beillot, J., & Rochcongar, P. (2002). Évolution de la puissance maximale anaérobie au cours de la croissance chez le footballeur. *Science & Sports*, 17(4), 177-188. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(02\)00155-7](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(02)00155-7)

Lee, C., & Oh, S. (2019). Development, Analysis, and Control of Series Elastic Actuator-Driven Robot Leg. *Frontiers in neurorobotics*, 13, 17. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2019.00017>

Lehance, C., Binet, J., Bury, T., & Croisier, J. L. (2008). Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players: Muscular strength in soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 243-251. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00780.x>

Lehnert, M., De Ste Croix, M., Zaatari, A., Hughes, J., Varekova, R., & Lastovicka, O. (2017). Muscular and neuromuscular control following soccer-specific exercise in male youth: Changes in injury risk mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(9), 975-982. <https://doi.org/10.1111/sms.12705>

Leyhr, D., Kelava, A., Raabe, J., & Höner, O. (2018). Longitudinal motor performance development in early adolescence and its relationship to adult success: An 8-year prospective study of highly talented soccer players. *PloS One*, 13(5), e0196324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196324>

Lieber, R. L., Roberts, T. J., Blemker, S. S., Lee, S., & Herzog, W. (2017). Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1), 108. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0318-y>

Lillegard, W. A., Brown, E. W., Wilson, D. J., Henderson, R., & Lewis, E. (1997). Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Pediatric Rehabilitation*, 1(3), 147-157.

Lindstedt, S. L., LaStayo, P. C., & Reich, T. E. (2001). When active muscles lengthen: Properties and consequences of eccentric contractions. *News in Physiological Sciences: An International Journal of Physiology Produced Jointly by the International Union of Physiological Sciences and the American Physiological Society*, 16, 256-261. <https://doi.org/10.1152/physiologyonline.2001.16.6.256>

Linklater, J. M., Hamilton, B., Carmichael, J., Orchard, J., & Wood, D. G. (2010). Hamstring injuries: Anatomy, imaging, and intervention. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 14(2), 131-161. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1253157>

Lipecki, K. (2018). Age-Related Differences in Fitness Performance and Technical Skills of Young Soccer Players. *Polish Journal of Sport and Tourism*, 25(4), 8-14. <https://doi.org/10.2478/pjst-2018-0021>

Liu, H., Garrett, W. E., Moorman, C. T., & Yu, B. (2012). Injury rate, mechanism, and risk factors of hamstring strain injuries in sports: A review of the literature. *Journal of Sport and Health Science*, 1(2), 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.07.003>

Lledó, E., & Huertas, F. (2012). Profile of the Football Coach in First Division Club Academies in the Region of Valencia. *Apunts Educación Física y Deportes*, 108(108), 35-45. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2012/2\).108.04](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2012/2).108.04)

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Radnor, J., Rhodes, B., Faigenbaum, A., & Myer, G. (2015). Relationships between functional movement screen scores, maturation and physical performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 33(1), 11-19. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.918642>

Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>

Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. A. (2014). Chronological age vs. biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>

López, A., Ayala, F., Vera, F. J., de Ste Croix, M., Hernández, S., Ruiz, I., Cejudo, A., & Santonja, F. (2019). Comprehensive profile of hip, knee and ankle ranges of motion in professional football players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(1), 102-109. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07910-5>

Lorains, M., Ball, K., & MacMahon, C. (2013). Performance analysis for decision making in team sports. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(1), 110-119. <https://doi.org/10.1080/24748668.2013.11868635>

Lovell, T., Bocking, C., Fransen, J., Kempton, T., & Coutts, A. (2018). Factors affecting physical match activity and skill involvement in youth soccer. *Science and Medicine in Football*, 2(1), 58-65. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1395062>

Made, A., Wieldraaijer, T., Kerkhoffs, G., Kleipool, R., Engebretsen, L., Dijk, C., & Golanó, P. (2015). The hamstring muscle complex. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 23(7), 2115-2122.

Maffulli, N., King, J. B., & Helms, P. (1994). Training in elite young athletes (the Training of Young Athletes (TOYA) Study): Injuries, flexibility and isometric strength. *British Journal of Sports Medicine*, 28(2), 123-136.

Maffulli, N., Del Buono, A., Oliva, F., Gai Via, A., Frizziero, A., Barazzuol, M., Brancaccio, P., Freschi, M., Galletti, S., Lisitano, G., Melegati, G., Nanni, G., Pasta, G., Ramponi, C., Rizzo, D., Testa, V., & Valent, A. (2014). Muscle Injuries: A Brief Guide to Classification and Management. *Translational Medicine @ UniSa*, 12, 14-18.

Mahrova, A., Hrasky, P., Zahalka, F., & Pozarek, P. (2014). The effect of two types of stretching on flexibility in selected joints in youth soccer players. *Acta Gymnica*, 44(1), 23-32. <https://doi.org/10.5507/ag.2014.003>

Malina, R. M. (1994). Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 22, 389-433.

Malina, R. M. (2010). Maturity status and injury risk in youth soccer players. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 20(2), 132. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000369404.77182.60>

Malina, R. M., Cumming, S. P., Morano, P. J., Barron, M., & Miller, S. J. (2005). Maturity status of youth football players: A noninvasive estimate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 1044-1052.

Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European Journal of Applied Physiology*, 91(5-6), 555-562. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0995-z>

Mallo, J., González, P., Veiga, S., & Navarro, E. (2011). Injury Incidence in a Spanish Sub-Elite Professional Football Team: A Prospective Study During Four Consecutive Seasons. *Journal of Sports Science & Medicine*, *10*(4), 731-736.

Malone, S., Roe, M., Doran, D. A., Gabbett, T. J., & Collins, K. (2017). High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *20*(3), 250-254. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.005>

Mansfield, P. J., & Neumann, D. A. (2019). Chapter 10—Structure and Function of the Knee. En P. J. Mansfield & D. A. Neumann (Eds.), *Essentials of Kinesiology for the Physical Therapist Assistant (Third Edition)* (pp. 278-310). Mosby. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54498-6.00010-2>

Marbán, R. M., Fernández, I. L., Luque, G. T., & Rodríguez, E. F. (2011). Conceptos sobre flexibilidad y términos afines. Una revisión sistemática. *TRANCES. Transmisión del Conocimiento Educativo y de la Salud*, *1* (ENE-FEB), 1-32.

Marques, V., Medeiros, T., de Souza Stigger, F., Nakamura, F., & Baroni, B. (2017). The functional movement screen (FMS™) in elite young soccer players between 14 and 20 years: Composite score, individual-test scores and asymmetries. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *12*(6), 977-985.

Marshall, P. W., Lovell, R., & Siegler, J. C. (2016). Changes in Passive Tension of the Hamstring Muscles During a Simulated Soccer Match. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(5), 594-601. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0009>

Martínez, L. C. (2008). Revisión de las estrategias para la prevención de lesiones en el deporte desde la actividad física. *Apunts. Medicina de l'Esport*, *43*(157), 30-40. [https://doi.org/10.1016/S1886-6581\(08\)70066-5](https://doi.org/10.1016/S1886-6581(08)70066-5)

Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., & Viciano, J. (2014). Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility: A Meta-Analysis. *Journal of Sports Science & Medicine*, *13*(1), 1-14.

McHugh, M. P., Connolly, D. A., Eston, R. G., Gattman, E. J., & Gleim, G. W. (2001). Electromyographic analysis of repeated bouts of eccentric exercise. *Journal of Sports Sciences*, *19*(3), 163-170. <https://doi.org/10.1080/026404101750095295>

McKay, M. J., Baldwin, J. N., Ferreira, P., Simic, M., Vanicek, N., Burns, J., & 1000 Norms Project Consortium. (2017). Normative reference values for strength and flexibility of 1,000 children and adults. *Neurology*, *88*(1), 36-43. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003466>

Medeiros, D. M., Miranda, L., Marques, V. B., de Araujo Ribeiro-Alvares, J. B., & Baroni, B. M. (2019). ACCURACY OF THE FUNCTIONAL MOVEMENT SCREEN (FMS™) ACTIVE STRAIGHT LEG RAISE TEST TO EVALUATE HAMSTRING FLEXIBILITY IN SOCCER PLAYERS. *International journal of sports physical therapy*, 14(6), 877–884.

Medeiros, H. B., de Araújo, D. S., & de Araújo, C. G. (2013). Age-related mobility loss is joint-specific: An analysis from 6,000 Flexitest results. *Age*, 35(6), 2399-2407. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9525-z>

Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitunen, S., Douglas, A., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Age-related differences in acceleration, maximum running speed, and repeated-sprint performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 477-484. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.536248>

Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., & Brughelli, M. (2012). Hamstring strain injuries: Are we heading in the right direction? *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 81-85. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.081695>

Mendiguchia, J., Martinez-Ruiz, E., Edouard, P., Morin, J. B., Martinez-Martinez, F., Idoate, F., & Mendez-Villanueva, A. (2017). A Multifactorial, Criteria-based Progressive Algorithm for Hamstring Injury Treatment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(7), 1482-1492. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001241>

Mendiguchia, J., Martinez-Ruiz, E., Morin, J. B., Samozino, P., Edouard, P., Alcaraz, P. E., Esparza-Ros, F., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players: Hamstring training and performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/sms.12388>

Merino-Marban, R., & Fernández-Rodríguez, E. (2009). Revisión sobre tipos y clasificaciones de la flexibilidad. Una nueva propuesta de clasificación. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 5(16), 52-70. <https://doi.org/10.5232/ricyde2009.01604>

Mersmann, F., Bohm, S., & Arampatzis, A. (2017). Imbalances in the Development of Muscle and Tendon as Risk Factor for Tendinopathies in Youth Athletes: A Review of Current Evidence and Concepts of Prevention. *Frontiers in Physiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00987>

Mier, C. M. (2011). Accuracy and Feasibility of Video Analysis for Assessing Hamstring Flexibility and Validity of the Sit-and-Reach Test. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(4), 617-623. <https://doi.org/10.1080/02701367.2011.10599798>

Miller, S. L., Gill, J., & Webb, G. R. (2007). The proximal origin of the hamstrings and surrounding anatomy encountered during repair. A cadaveric study. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 89(1), 44-48. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00094>

División de Estadística y Estudios de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Cultura y Deporte. (2020). *Anuario de Estadísticas Deportivas 2020*. Recuperado de <http://www.culturaydeporte.gob.es/servicios-al-ciudadano/estadisticas/deportes/anuario-de-estadisticas-deportivas.html>

Mirkov, D. M., Kukulj, M., Ugarkovic, D., J. Koprivica, V., & Jaric, S. (2010). Development of Anthropometric and Physical Performance Profiles of Young Elite Male Soccer Players: A Longitudinal study: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2677-2682. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e27245>

Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689-694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>

Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>

Moral, J., Esteban, B., Arroyo, M., Cobo, M., & Herrera, E. (2015). Agreement Between Face-to-Face and Free Software Video Analysis for Assessing Hamstring Flexibility in Adolescents. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2661-2665. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000896>

Moras, G. (2007). Entrenamiento de la amplitud de movimiento en los deportes colectivos. *Máster profesional en alto rendimiento en deportes colectivos. Master CEMEDE-FC Barcelona*. Barcelona.

Mueller-Wohlfahrt, H. W., Haensel, L., Mithoefer, K., Ekstrand, J., English, B., McNally, S., Orchard, J., van Dijk, C. N., Kerkhoffs, G. M., Schamasch, P., Blottner, D., Swaerd, L., Goedhart, E., & Ueblacker, P. (2013). Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 342-350. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091448>

Mufty, S., Bollars, P., Vanlommel, L., Van Crombrugge, K., Corten, K., & Bellemans, J. (2015). Injuries in male versus female soccer players: Epidemiology of a nationwide study. *Acta Orthopaedica Belgica*, 81(2), 289-295.

Muyor, J. M., Zemková, E., Štefániková, G., & Kotyra, M. (2014). Concurrent Validity of Clinical Tests for Measuring Hamstring Flexibility in School Age Children. *International Journal of Sports Medicine*, 35(8), 664-669. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1353217>

Muyor, J. M., Alacid, F., Rodríguez, P., & López, P. (2012). Influence of Hamstring Extensibility on Sagittal Spinal Curvatures and Pelvic Inclination in Athletes. *International Journal of Morphology*, 30(1), 176-181. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022012000100031>

Muyor, J. M., & Arrabal-Campos, F. M. (2016). Effects of Acute Fatigue of the Hip Flexor Muscles on Hamstring Muscle Extensibility. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 23–31. <https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0007>

Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Current Sports Medicine Reports*, 10(3), 155-166. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442>

Myer, G. D., Jayanthi, N., Difiori, J. P., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A. W., Logerstedt, D., & Micheli, L. J. (2015). Sport Specialization, Part I. *Sports Health*, 7(5), 437-442. <https://doi.org/10.1177/1941738115598747>

Nikolaidis, P. T. (2012). Age-Related Differences of Hamstring Flexibility in Male Soccer Players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 4(2), 110-115. <https://doi.org/10.2478/v10131-012-0012-1>

Nikolaidis, P. T., & Vassilios Karydis, N. (2011). Physique and Body Composition in Soccer Players across Adolescence. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2(2), 75-82.

Nogueira, M., Laiginhas, R., Ramos, J., & Costa, O. (2017). Injuries in Portuguese Amateur Youth Football Players: A Six Month Prospective Descriptive Study. *Acta Medica Portuguesa*, 30(12), 840-847. <https://doi.org/10.20344/amp.8835>

Noonan, T. J., & Garrett, W. E. (1999). Muscle strain injury: Diagnosis and treatment. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 7(4), 262-269. <https://doi.org/10.5435/00124635-199907000-00006>

Adnan, N. M., Patar, M. N., Lee, H., Yamamoto, S. I., Jong-Young, L., & Mahmud, J. (2018). Biomechanical analysis using Kinovea for sports application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 342, 012097. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012097>

Nordez, A., Gross, R., Andrade, R., Le Sant, G., Freitas, S., Ellis, R., McNair, P. J., & Hug, F. (2017). Non-Muscular Structures Can Limit the Maximal Joint Range of Motion during Stretching. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(10), 1925-1929. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0703-5>

Noya, J., & Sillero, M. (2012). Incidencia lesional en el fútbol profesional español a lo largo de una temporada: Días de baja por lesión. *Apunts Sports Medicine*, 47(176), 115-123. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.10.001>

Referencias bibliográficas

Noya, J., Gómez, P. M., Gracia, L., Moliner, D., & Sillero, M. (2014). Epidemiology of injuries in First Division Spanish football. *Journal of Sports Sciences*, 32(13), 1263-1270. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.884720>

O'Kane, J. W., Gray, K. E., Levy, M. R., Neradilek, M., Tencer, A. F., Polissar, N. L., & Schiff, M. A. (2016). Shoe and field surface risk factors for acute lower extremity injuries among female youth soccer players. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 26(3), 245-250. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000236>

Orchard, J. W. (2001). Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in Australian football. *The American Journal of Sports Medicine*, 29(3), 300-303. <https://doi.org/10.1177/03635465010290030801>

Ostrovidov, S., Hosseini, V., Ahadian, S., Fujie, T., Parthiban, S. P., Ramalingam, M., Bae, H., Kaji, H., & Khademhosseini, A. (2014). Skeletal muscle tissue engineering: Methods to form skeletal myotubes and their applications. *Tissue Engineering. Part B, Reviews*, 20(5), 403-436. <https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2013.0534>

Otero, C., de Hoyo, M., Gonzalo-Skok, Ó., Domínguez, S., & Sánchez, H. (2017). Is strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in young elite soccer players? *European Journal of Sport Science*, 17(10), 1241-1251. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1378372>

Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 72, 129-152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015>

Palucci Vieira, L. H., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R., & Santiago, P. R. P. (2019). Match Running Performance in Young Soccer Players: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(2), 289-318. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01048-8>

Paoli, A., Bianco, A., Palma, A., & Marcolin, G. (2012). Training the Vertical Jump to Head the Ball in Soccer. *Strength & Conditioning Journal (Lippincott Williams & Wilkins)*, 34(3), 80-85.

Pastor, F. S. (2005). Una revisión de los métodos de flexibilidad y de su terminología. *Kronos: revista universitaria de la actividad física y el deporte*, 7, 5-15.

Petersen, J., Thorborg, K., Nielsen, M. B., & Hölmich, P. (2010). Acute hamstring injuries in Danish elite football: A 12-month prospective registration study among 374 players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(4), 588-592. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.00995.x>

Philippaerts, R., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221-230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>

Pollock, N., James, S. L., Lee, J. C., & Chakraverty, R. (2014). British athletics muscle injury classification: A new grading system. *British Journal of Sports Medicine*, 48(18), 1347-1351. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093302>

Portella, D. L., Arruda, M. de, & Cossio-Bolaños, M. A. (2011). Valoración del rendimiento físico de jóvenes futbolistas en función de la edad cronológica. *Apunts: Educación física y deportes*, 106, 42-49.

Portes, L., Canhadas, I., Silva, R., & Oliveira, N. C. (2015). Anthropometry and fitness of young elite soccer players by field position. *Sport Sciences for Health*, 11(3), 321-328. <https://doi.org/10.1007/s11332-015-0243-z>

Post, E., Trigsted, S., Riekena, J., Hetzel, S., McGuine, T., Brooks, M. A., & Bell, D. (2017). The Association of Sport Specialization and Training Volume With Injury History in Youth Athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(6), 1405-1412. <https://doi.org/10.1177/0363546517690848>

Potvin, J. R. (1997). Effects of muscle kinematics on surface EMG amplitude and frequency during fatiguing dynamic contractions. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 82(1), 144-151. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.1.144>

Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A. (2004). The Football Association medical research programme: An audit of injuries in academy youth football. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 466-471. <https://doi.org/10.1136/bjism.2003.005165>

Prior, M., Guerin, M., & Grimmer, K. (2009). An Evidence-Based Approach to Hamstring Strain Injury. *Sports Health*, 1(2), 154-164. <https://doi.org/10.1177/1941738108324962>

Pua, Y. H., Wrigley, T. V., Cowan, S. M., & Bennell, K. L. (2008). Intrarater test-retest reliability of hip range of motion and hip muscle strength measurements in persons with hip osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(6), 1146-1154. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.10.028>

Purcell, J. S., & Hergenroeder, A. C. (1994). Physical conditioning in adolescents. *Current Opinion in Pediatrics*, 6(4), 373-378.

Qiu, J., & Kang, J. (2017). Exercise Associated Muscle Cramps—A Current Perspective. *Archives of Sports Medicine*, 1(1), 3-14. <https://doi.org/10.36959/987/223>

Quatman-Yates, C. C., Quatman, C. E., Meszaros, A. J., Paterno, M. V., & Hewett, T. E. (2012). A systematic review of sensorimotor function during adolescence: A developmental stage of increased motor awkwardness? *British Journal of Sports Medicine*, 46(9), 649-655. <https://doi.org/10.1136/bjism.2010.079616>

Radák, Z. (2018). Chapter 2—Skeletal Muscle, Function, and Muscle Fiber Types. En Z. Radák (Ed.), *The Physiology of Physical Training* (pp. 15-31). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815137-2.00002-4>

Rahnama, N., Lees, A., & Bambaecichi, E. (2005). Comparison of muscle strength and flexibility between the preferred and non-preferred leg in English soccer players. *Ergonomics*, 48(11-14), 1568-1575. <https://doi.org/10.1080/00140130500101585>

Ramsay, J. A., Blimkie, C. J., Smith, K., Garner, S., MacDougall, J. D., & Sale, D. G. (1990). Strength training effects in prepubescent boys. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(5), 605-614. <https://doi.org/10.1249/00005768-199010000-00011>

Raya, J., Suarez, L., Larruskain, J., & Sáez de Villarreal, E. (2018). Muscle injuries in the academy of a Spanish professional football club: A one-year prospective study. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 53(197), 3-9. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.12.001>

Read, P., Oliver, J., De Ste Croix, M., Myer, G., & Lloyd, R. (2018). An audit of injuries in six english professional soccer academies. *Journal of Sports Sciences*, 36(13), 1542-1548. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1402535>

Real Federación Española de Fútbol. (2016). *Informe de Licencias Temporada 2016-2017*. Recuperado de <https://www.rfef.es/competiciones/licencias>

Reed, J., & Bowen, J. D. (2008). Chapter 33—Principles of Sports Rehabilitation. En P. H. Seidenberg & A. I. Beutler (Eds.), *The Sports Medicine Resource Manual* (pp. 431-436). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-141603197-0.10033-3>

Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 695-702. <https://doi.org/10.1080/02640410050120078>

Renshaw, A., & Goodwin, P. C. (2016). Injury incidence in a Premier League youth soccer academy using the consensus statement: A prospective cohort study. *BMJ Open Sport — Exercise Medicine*, 2(1), e000132. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000132>

Ribeiro-Alvares, J. B., Marques, V. B., Vaz, M. A., & Baroni, B. M. (2018). Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1254-1262. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001975>

Ribeiro-Alvares, J. B., Dornelles, M. P., Fritsch, C. G., de Lima-E-Silva, F. X., Medeiros, T. M., Severo-Silveira, L., Marques, V. B., & Baroni, B. M. (2020). Prevalence of Hamstring Strain Injury Risk Factors in Professional and Under-20 Male Football (Soccer) Players. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(3), 339-345.

Roberts, T. J., & Konow, N. (2013). How tendons buffer energy dissipation by muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 41(4), 186-193. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3182a4e6d5>

Robinson, T. (2011). The influence of soccer-specific fatigue on hip range of motion and peak isokinetic hip flexor torque in male soccer players. *Graduate Theses and Dissertations*, 12141. <https://doi.org/10.31274/etd-180810-1569>

Roemmich, J. N., & Rogol, A. D. (1995). Physiology of growth and development. Its relationship to performance in the young athlete. *Clinics in Sports Medicine*, 14(3), 483-502.

Rolls, A., & George, K. (2004). The relationship between hamstring muscle injuries and hamstring muscle length in young elite footballers. *Physical Therapy in Sport*, 5(4), 179-187. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2004.08.005>

Rommers, N., Mostaert, M., Goossens, L., Vaeyens, R., Witvrouw, E., Lenoir, M., & D'Hondt, E. (2019). Age and maturity related differences in motor coordination among male elite youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 37(2), 196-203. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1488454>

Rössler, R., Junge, A., Chomiak, J., Němec, K., Dvorak, J., Lichtenstein, E., & Faude, O. (2018). Risk factors for football injuries in young players aged 7 to 12 years. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28(3), 1176-1182. <https://doi.org/10.1111/sms.12981>

Rugg, C., Kadoor, A., Feeley, B. T., & Pandya, N. K. (2018). The Effects of Playing Multiple High School Sports on National Basketball Association Players' Propensity for Injury and Athletic Performance. *The American Journal of Sports Medicine*, 46(2), 402-408. <https://doi.org/10.1177/0363546517738736>

Sáez, F. P. (2005). Una revisión de los métodos de flexibilidad y de su terminología. *Kronos: revista universitaria de la actividad física y el deporte*, 7, 5-15.

Salom, M. (2020). *Readaptación Tras Las lesiones deportivas: Un Tratamiento multidisciplinar* (1.ª ed.). Medica Panamericana.

Sánchez, J. Á., & Román, P. Á. (2003). Valoración de la condición física para la salud. *Apunts: Educación física y deportes*, 73(3), 32-41.

Referencias bibliográficas

Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2013). Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *European Journal of Sport Science*, 13(5), 445-451. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.742572>

Sanfilippo, J. L., Silder, A., Sherry, M. A., Tuite, M. J., & Heiderscheit, B. C. (2013). Hamstring strength and morphology progression after return to sport from injury. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(3), 448-454. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182776eff>

Sannicandro, I., Quarto, A., Piccinno, A., Cofano, G., & Rosa, R. A. (2014). Lower Limb Functional Asymmetries in Young Soccer Players: Do Differences Exist Between Different Age Groups? *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 657-657. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093494.260>

Sannicandro, I., Rosa, R. A., De Pascalis, S., & Piccinno, A. (2012). The determination of functional asymmetries in the lower limbs of young soccer players using the countermovement jump. The lower limbs asymmetry of young soccer players. *Science & Sports*, 27(6), 375-377. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.11.001>

Santana, F. O., Ramírez, A. C., Calbet, J. A. L., Pablos, J. E. G. de, Romero, R. R., Manso, J. M. G., & Sequeros, O. G. (1990). Les bases de la flexibilitat. *Apunts: Medicina de l'esport*, 27(103), 61-70.

Santonja, F., Ferrer, V., & Martinez, I. (1995). Exploración clínica del síndrome de isquiosurales cortos. *Selección*, 4(2), 78-88.

Schache, A. (2012). Eccentric hamstring muscle training can prevent hamstring injuries in soccer players. *Journal of Physiotherapy*, 58(1), 58. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(12\)70074-7](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(12)70074-7)

Schiaffino, S., & Reggiani, C. (2011). Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiological Reviews*, 91(4), 1447-1531. <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2010>

Schoenfeld, B. (2002). Accentuating Muscular Development Through Active Insufficiency and Passive Tension. *Strength & Conditioning Journal*, 24(4), 20-22.

Schuermans, J., Danneels, L., Van Tiggelen, D., Palmans, T., & Witvrouw, E. (2017). Proximal Neuromuscular Control Protects Against Hamstring Injuries in Male Soccer Players: A Prospective Study With Electromyography Time-Series Analysis During Maximal Sprinting. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(6), 1315-1325. <https://doi.org/10.1177/0363546516687750>

Schuermans, J., Van Tiggelen, D., Danneels, L., & Witvrouw, E. (2016). Susceptibility to Hamstring Injuries in Soccer. *American Journal of Sports Medicine*, 44(5), 1276-1285.

Schurr, S. A., Marshall, A. N., Resch, J. E., & Saliba, S. A. (2017). TWO-DIMENSIONAL VIDEO ANALYSIS IS COMPARABLE TO 3D MOTION CAPTURE IN LOWER EXTREMITY MOVEMENT ASSESSMENT. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(2), 163-172.

Sedano, S., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2007). Valoración de la influencia de la práctica del fútbol en la evolución de la fuerza, la flexibilidad y la velocidad en población infantil. *Apunts. Educación física y deportes*, 1(87), 54-63.

Sedano, S., Matheu, A., Redondo, J. C., & Cuadrado, G. (2011). Effects of plyometric training on explosive strength, acceleration capacity and kicking speed in young elite soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(1), 50-58.

Seirul-lo, F. (2017). *El entrenamiento en los deportes de equipo*. Bicorp Europa.

Shadle, I. B., & Cacolice, P. A. (2017). Eccentric Exercises Reduce Hamstring Strains in Elite Adult Male Soccer Players: A Critically Appraised Topic. *Journal of Sport Rehabilitation*, 26(6), 573-577.

Shrout, P., & Fleiss, J. (1979). Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin*, 86(2), 420-428.

Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2019). *Control Motor—De la Investigación a la Práctica Clínica* (5.^a ed.). Lippincott Williams & Wilkins. <https://books.google.es/books?id=4b88uQEACAAJ>

Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. (2000). *Superentrenamiento* (1.^a ed.). Barcelona, España: Paidotribo.

Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2015). Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0006-z>

Small, K., McNaughton, L., Greig, M., & Lovell, R. (2010). The effects of multidirectional soccer-specific fatigue on markers of hamstring injury risk. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.08.005>

Small, K., McNaughton, L. R., Greig, M., Lohkamp, M., & Lovell, R. (2009). Soccer Fatigue, Sprinting and Hamstring Injury Risk. *International Journal of Sports Medicine*, 30(08), 573-578. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1202822>

Soarez, H., Fragoso, I., Massuca, L., & Barrigas, C. (2012). Impacto de la maduración y de los puestos específicos en la condición física en jóvenes futbolistas. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 47(174), 73-81. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2011.08.004>

Referencias bibliográficas

Sole, G., Milosavljevic, S., Nicholson, H., & Sullivan, S. J. (2012). Altered muscle activation following hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 46(2), 118-123. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.079343>

Sporis, G., Vucetic, V., Jovanovic, M., Jukic, I., & Omrcen, D. (2011). Reliability and Factorial Validity of Flexibility Tests for Team Sports: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1168-1176. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc2334>

Stojanovic, M. D., & Ostojic, S. M. (2011). Stretching and injury prevention in football: Current perspectives. *Research in Sports Medicine (Print)*, 19(2), 73-91. <https://doi.org/10.1080/15438627.2011.556476>

Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(6), 501-536.

Suárez, A. L., Hervías, M. T., López, F. J., & Manzanares, M. T. (2010). Relación entre el test de elevación de pierna recta y el test ángulo poplíteo en la medición de la extensibilidad isquiosural. *Fisioterapia*, 32(6), 256-263.

Tanner, H., Effertz, C., & Thissen, G. (2013). Elevate your speed! *Success in Soccer*, 17(6), 16-25.

Tears, C., Chesterton, P., & Wijnbergen, M. (2018). The elite player performance plan: The impact of a new national youth development strategy on injury characteristics in a premier league football academy. *Journal of Sports Sciences*, 36(19), 2181–2188. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1443746>

Teeple, J. B., Lohman, T. G., Misner, J. E., Boileau, R. A., & Massey, B. H. (1975). Contribution of Physical Development and Muscular Strength to the Motor Performance Capacity of 7 to 12 Year Old Boys. *British Journal of Sports Medicine*, 9(3), 122-129.

Tesch, P. A., Dudley, G. A., Duvoisin, M. R., Hather, B. M., & Harris, R. T. (1990). Force and EMG signal patterns during repeated bouts of concentric or eccentric muscle actions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 138(3), 263-271. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1990.tb08846.x>

Thelen, D. G., Chumanov, E. S., Hoerth, D. M., Best, T. M., Swanson, S. C., Li, L., Young, M., & Heiderscheit, B. C. (2005). Hamstring muscle kinematics during treadmill sprinting. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(1), 108-114.

Timmins, R. G., Bourne, M. N., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., & Opar, D. A. (2016). Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): A prospective cohort study. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1524-1535. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095362>

Timmins, R. G., Shield, A., Williams, M., Lorenzen, C., & Opar, D. (2014). Differences exist in the architectural characteristics of the biceps femoris long head in previously injured individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*, e143-e144. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.11.147>

Tous, J. (2007). Entrenamiento de la fuerza en los deportes colectivos. *Máster profesional en alto rendimiento en deportes de equipo. Máster CEMEDE-FC Barcelona*. Barcelona.

Ueblacker, P., Müller-Wohlfahrt, H. W., & Ekstrand, J. (2015). Epidemiological and clinical outcome comparison of indirect ('strain') versus direct ('contusion') anterior and posterior thigh muscle injuries in male elite football players: UEFA Elite League study of 2287 thigh injuries (2001-2013). *British Journal of Sports Medicine*, *49*(22), 1461-1465. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094285>

Vaeyens, R., Malina, R. M., Janssens, M., Van Renterghem, B., Bourgois, J., Vrijens, J., & Philippaerts, R. M. (2006). A multidisciplinary selection model for youth soccer: The Ghent Youth Soccer Project. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(11), 928-934. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.029652>

Valle, X., Malliaropoulos, N., Párraga, J. D., Bikos, G., Pruna, R., Mónaco, M., & Maffulli, N. (2018). Hamstring and other thigh injuries in children and young athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(12), 2630-2637. <https://doi.org/10.1111/sms.13282>

van Beijsterveldt, A. M., van de Port, I. G., Vereijken, A. J., & Backx, F. J. (2013). Risk Factors for Hamstring Injuries in Male Soccer Players: A Systematic Review of Prospective Studies: Risk factors for hamstring injuries. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *23*(3), 253-262. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01487.x>

van de Hoef, P. A., Brauers, J. J., van Smeden, M., Backx, F. J., & Brink, M. S. (2020). The Effects of Lower-Extremity Plyometric Training on Soccer-Specific Outcomes in Adult Male Soccer Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, *15*(1), 3-17.

van der Horst, N. (2018). Preventing hamstring injuries in football through enhanced exercise and RTP strategies. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(10), 684-685. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098630>

van der Horst, N., Smits, D.-W., Petersen, J., Goedhart, E. A., & Backx, F. J. G. (2015). The preventive effect of the nordic hamstring exercise on hamstring injuries in amateur soccer players: A randomized controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, *43*(6), 1316-1323. <https://doi.org/10.1177/0363546515574057>

van Doormaal, M., van der Horst, N., Backx, F., Smits, D., & Huisstede, B. (2017). No Relationship Between Hamstring Flexibility and Hamstring Injuries in Male Amateur Soccer Players: A Prospective Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(1), 121-126. <https://doi.org/10.1177/0363546516664162>

van Dyk, N., Bahr, R., Whiteley, R., Tol, J. L., Kumar, B. D., Hamilton, B., Farooq, A., & Witvrouw, E. (2016). Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(7), 1789-1795. <https://doi.org/10.1177/0363546516632526>

Van Hooren, B., & Bosch, F. (2017). Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? Part I: A critical review of the literature. *Journal of Sports Sciences*, 35(23), 2313-2321. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1266018>

Vandendriessche, J. B., Vaeyens, R., Vandorpe, B., Lenoir, M., Lefevre, J., & Philippaerts, R. M. (2012). Biological maturation, morphology, fitness, and motor coordination as part of a selection strategy in the search for international youth soccer players (age 15-16 years). *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1695-1703. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.652654>

Vaquero-Cristóbal, R., Muyor, J. M., Alacid, F., & López-Miñarro, P. A. (2012). Efecto de un Programa de Estiramientos de la Musculatura Isquiosural en Futbolistas. *International Journal of Morphology*, 30(3), 1065-1070. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022012000300049>

Verkhoshansky, Y. (2001). *Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo* (1ª ed.). Barcelona, España: Paidotribo.

Vicens-Bordas, J., Esteve, E., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Clausen, M. B., Bandholm, T., Opart, D., Shield, A., & Thorborg, K. (2020). Eccentric Hamstring Strength Is Associated with Age and Duration of Previous Season Hamstring Injury in Male Soccer Players. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(2), 246-253.

Vidal, M., Vidal, T., Almela, M., & Vidal, M. (2011). El acortamiento de los isquiosurales. *Apunts Educación Física y Deportes*, 105, 44-50. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2011/3\).105.05](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2011/3).105.05)

Viru, A., Loko, J., Harro, M., Volver, A., Laaneots, L., & Viru, M. (1999). Critical Periods in the Development of Performance Capacity During Childhood and Adolescence. *European Journal of Physical Education*, 4(1), 75-119. <https://doi.org/10.1080/1740898990040106>

Visscher, C., Elferink-Gemser, M. T., & Lemmink, K. A. (2006). Interval endurance capacity of talented youth soccer players. *Perceptual and Motor Skills*, 102(1), 81-86. <https://doi.org/10.2466/pms.102.1.81-86>

Wan, X., Qu, F., Garrett, W. E., Liu, H., & Yu, B. (2017a). The effect of hamstring flexibility on peak hamstring muscle strain in sprinting. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 283-289. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.03.012>

Wan, X., Qu, F., Garrett, W. E., Liu, H., & Yu, B. (2017b). Relationships among hamstring muscle optimal length and hamstring flexibility and strength. *Journal of Sport and Health Science*, 6(3), 275-282. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.04.009>

Ward, S. R., Eng, C. M., Smallwood, L. H., & Lieber, R. L. (2009). Are current measurements of lower extremity muscle architecture accurate? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 467(4), 1074-1082. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0594-8>

Weppeler, C. H., & Magnusson, S. P. (2010). Increasing Muscle Extensibility: A Matter of Increasing Length or Modifying Sensation? *Physical Therapy*, 90(3), 438-449. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090012>

Williams, A. M. (2000). Perceptual skill in soccer: Implications for talent identification and development. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 737-750. <https://doi.org/10.1080/02640410050120113>

Williams, G. N., Chmielewski, T., Rudolph, K., Buchanan, T. S., & Snyder-Mackler, L. (2001). Dynamic knee stability: Current theory and implications for clinicians and scientists. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 31(10), 546-566. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.10.546>

Williams, S., Trewartha, G., Kemp, S. P., Michell, R., & Stokes, K. A. (2016). The influence of an artificial playing surface on injury risk and perceptions of muscle soreness in elite Rugby Union. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(1), 101-108. <https://doi.org/10.1111/sms.12402>

Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L., & Davis, I. M. (2005). Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13(5), 316-325.

Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285-288. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>

Witvrouw, E., Danneels, L., Asselman, P., D'Have, T., & Cambier, D. (2003). Muscle flexibility as a risk factor for developing muscle injuries in male professional soccer players. A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 31(1), 41-46.

Wong, P., Chamari, K., & Wisløff, U. (2010). Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 644-652. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ad3349>

Woodley, S. J., & Mercer, S. R. (2005). Hamstring muscles: Architecture and innervation. *Cells, Tissues, Organs*, 179(3), 125-141. <https://doi.org/10.1159/000085004>

Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M., & Hodson, A. (2002). The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football—analysis of preseason injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 36(6), 436-441.

Woods, C., Hawkins, R., Maltby, S., Hulse, M., Thomas, A., & Hodson, A. (2004). The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 38(1), 36-41. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002352>

Wrigley, R., Drust, B., Stratton, G., Scott, M., & Gregson, W. (2012). Quantification of the typical weekly in-season training load in elite junior soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 30(15), 1573-1580. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.709265>

Yagüe, P. H., & De La Fuente, J. M. (1998). Changes in height and motor performance relative to peak height velocity: A mixed-longitudinal study of Spanish boys and girls. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council*, 10(5), 647-660. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6300\(1998\)10:5<647::AID-AJHB11>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1998)10:5<647::AID-AJHB11>3.0.CO;2-8)

Ylinen, J. J., Kautiainen, H. J., & Häkkinen, A. H. (2010). Comparison of Active, Manual, and Instrumental Straight Leg Raise in Measuring Hamstring Extensibility: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 972-977. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d0a55f>

Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 74-83.

Zago, M., Moorhead, A. P., Bertozzi, F., Sforza, C., Tarabini, M., & Galli, M. (2020). Maturity offset affects standing postural control in youth male soccer players. *Journal of Biomechanics*, 99, 109523. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109523>

Zakas, A., Galazoulas, C., Grammatikopoulou, M. G., & Vergou, A. (2002). Effects of stretching exercise during strength training in prepubertal, pubertal and adolescent boys. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 6(3), 170-176. <https://doi.org/10.1054/jbmt.2001.0275>

Zalai, D. (2015). Motor Skills, Anthropometrical Characteristics and Functional Movement in Elite Young Soccer Players. *Journal of Exercise, Sports & Orthopedics*, 2(1), 1-7.

Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007a). The effects of core proprioception on knee injury: A prospective biomechanical-epidemiological study. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(3), 368-373. <https://doi.org/10.1177/0363546506297909>

Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007b). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: A prospective biomechanical-epidemiologic study. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(7), 1123-1130. <https://doi.org/10.1177/0363546507301585>

Zouita, S., Zouita, A. B. M., Keksi, W., Dupont, G., Ben Abderrahman, A., Ben Salah, F. Z., & Zouhal, H. (2016). Strength Training Reduces Injury Rate in Elite Young Soccer Players During One Season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(5), 1295-1307. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000920>

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de datos del participante.

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de
Valencia

HOJA DE DATOS DE LOS PARTICIPANTES			
(Ordenado por 1 ^{er} apellido)			
CLUB:		EQUIPO	(CATEGORIA Y LETRA):
NÚMERO DE SESIONES DE ENTRENAMIENTO: ____			

NOMBRE	APELLI DOS	FECHA DE NACIMIENTO	DEMARCACIÓN ¹²	LATERALID AD ¹³	LESIONES PREVIAS ¹⁴

¹² Posición específica preferencial del jugador durante los partidos (portero, defensa, centrocampista, delantero).

¹³ Pierna de golpeo elegida en caso de tener que lanzar un penalti.

¹⁴ Lesiones previas en la parte posterior de la pierna durante los 2 meses previos a las mediciones.

Anexo 3. Consentimiento y protección de datos de carácter personal.

ANÁLISIS DE LAS LESIONES DE LOS MÚSCULOS ISQUIOSURALES

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia

Título: Rango de movimiento activo en la flexión de cadera y la prevalencia de lesiones en isquiosurales en futbolistas jóvenes

Promotor: Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”

Código del Promotor: UCV/2017-2018/08.

Nombre y apellidos de los investigadores principales: Alejandro Sanz Bayo, Florentino Huertas Olmedo, Carlos Pablos Abella

Los datos de carácter personal recabados son incluidos en fichero titularidad de la Universitaria Católica de Valencia “San Vicente Mártir (UCV). La finalidad de la recogida y tratamiento de los datos es a los únicos efectos de identificar a las personas físicas, cuya información es sometida a estudio o análisis, en la labor de investigación.

Los investigadores/as o equipos de investigación tratan los datos con las medidas de seguridad, conforme a Ley, necesarias para garantizar la confidencialidad y la integridad de toda esta información.

Los resultados provisionales y finales del estudio están completamente compuestos de información no identificativa de personas.

Los datos sensibles (salud, violencia de género, origen racial o étnico, entre otros) que, en su caso, pudiera proporcionar se entenderá que la UCV (y, en concreto, el investigador/a o equipo de investigación) está autorizado, de forma expresa, para el tratamiento y, en su caso, cesión o comunicación. Así, informamos que sus datos pudieran ser cedidos o comunicados a las entidades o profesionales, sanitarios o científicos, en los supuestos necesarios para el desarrollo, control y seguimiento de un estudio epidemiológico.

De conformidad con la Ley Orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal, Vd. puede ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y, en su caso, oposición, presentando una solicitud por escrito, acompañada de una fotocopia de su D.N.I., Pasaporte, N.I.E. u otro documento de identificación equivalente, dirigida a la secretaria de la Universidad Católica de Valencia – LOPD INVESTIGACIÓN C/ Quevedo, 2 46001 de Valencia.

De acuerdo con lo anterior, **CONSIENTO** al personal de la UCV a que trate mis datos personales, en las condiciones y términos expuestos. Y, como prueba de conformidad, suscribo la presente.

En....., a de de 20....

Nombre y Apellidos:.....

D.N.I.:.....

Fdo.

Nota. - En caso de actuar como tutor o representante legal de la persona objeto de estudio.

Nombre y Apellidos:.....

D.N.I.:.....

Anexo 4. - Hoja de consentimiento y asentamiento informado

HOJA DE CONSENTIMIENTO Y ASENTAMIENTO INFORMADO

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia

La Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte de la UCV, le ofrece la posibilidad de participar en un estudio de investigación. Con esta hoja pretendemos informarle de las características del estudio, para que usted pueda decidir si desea participar, de forma voluntaria y gratuita, en la investigación. El estudio puede abandonarse en cualquier momento, por la razón que sea, incluso sin causa justificada.

Título del estudio: Rango de movimiento activo en la flexión de cadera y la prevalencia de lesiones en isquiosurales en futbolistas jóvenes

Promotor: Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”

Código del Promotor: UCV/2017-2018/08

Nombre y apellidos de los investigadores principales: Alejandro Sanz Bayo, Florentino Huertas Olmedo y Carlos Pablos Abella (UCV)

Fuentes de financiación: Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”

Conflicto de intereses: No existe conflicto de intereses

Características y pruebas del estudio.

El objetivo de este estudio consiste en analizar la relación que tiene el Rango de Movimiento de flexión de cadera sobre la incidencia lesional de la musculatura en isquiosural en edades de formación.

- **Test de rango de movimiento** (*active straight leg raise, ASLR*): Será grabado y fotografiado para valorar su rango de movimiento de flexión de cadera. El test se realizará sobre una camilla y será filmado para su posterior estudio mediante un software de análisis de video y su uso científico. Se trata de una prueba no invasiva e indolora.
- **Lugar de realización de la prueba.** Se realiza en las instalaciones deportivas del club. Ante cualquier duda, le rogamos que se ponga en contacto con el investigador principal.
- **Beneficios.** Los datos obtenidos con esta investigación contribuirán a esclarecer la relación entre la movilidad activa de la cadera y la incidencia lesional de los isquiosurales. Datos que contribuirán a la prevención de lesiones y el rendimiento deportivo de jugadores jóvenes.
- **Riesgos.** La prueba es breve, no invasiva e indolora. Sin ningún riesgo.
- **Confidencialidad de los datos.** Los datos personales por Vd. facilitados y los resultados de las pruebas, son incluidos en un fichero con acceso exclusivo por parte del personal investigador que participa en el estudio, pertenecientes todos ellos a la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALENCIA ‘SAN VICENTE MÁRTIR’ e inscritos en el fichero “ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN” con código de inscripción en la Agencia Española de Protección de datos. La información y fotografías de carácter personal no serán cedidas o comunicada a terceros para algún fin distinto al científico. Permitiendo la difusión de imágenes y resultados en artículos de revistas relacionadas con la temática.

Consentimiento

Yo, D: _____, con DNI _____ declaro que he leído y comprendido la información del estudio.

Doyle mi consentimiento para participar en el estudio y realizar la prueba que en él se incluye.

Firma del investigador:

Firma del participante:

Anexo 5. Hoja de información y consentimiento de la madre/padre o tutor.

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO DE LA MADRE/PADRE O TUTOR

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia

La Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte de la UCV, le ofrece la posibilidad de participar en un estudio de investigación. Con esta hoja pretendemos informarle de las características del estudio, para que usted pueda decidir si desea participar, de forma voluntaria y gratuita, en la investigación. El estudio puede abandonarse en cualquier momento, por la razón que sea, incluso sin causa justificada.

Título del estudio: Rango de movimiento activo en la flexión de cadera y la prevalencia de lesiones en isquiosurales en futbolistas jóvenes

Promotor: Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”

Código del Promotor: UCV/2017-2018/08

Nombre y apellidos de los investigadores principales: Alejandro Sanz Bayo, Florentino Huertas Olmedo y Carlos Pablos Abella (UCV)

Fuentes de financiación: Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”

Conflicto de intereses: No existe conflicto de intereses

Estipulaciones personas que puedan sufrir daños: Atenciones médicas cubiertas por el seguro de responsabilidad civil suscrito por la Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.

Características y pruebas del estudio.

El objetivo de este estudio consiste en analizar la relación que tiene el Rango de Movimiento de flexión de cadera sobre la incidencia lesional de la musculatura en isquiosural en edades de formación.

- **Test de Rango de Movimiento activo** (*active straight leg raise, ASLR*): Su hijo será grabado para valorar su capacidad de rango de movimiento. El test será filmado para su posterior estudio mediante, con el objetivo de registrar el grado de movimiento de la flexión de la cadera. Se trata de una prueba no invasiva e indolora.
- **Lugar de realización de la prueba.** Se realiza en las instalaciones deportivas del club en una sala habilitada.
- **Beneficios.** Los datos obtenidos con esta investigación contribuirán a esclarecer la relación entre la movilidad activa de la cadera y la incidencia lesional de los isquiosurales. Datos que contribuirán a la prevención de lesiones y el rendimiento deportivo de jugadores jóvenes
- **Riesgos.** La prueba es breve, no invasiva e indolora. Sin ningún riesgo.
- **Confidencialidad de los datos.** Los datos personales por Vd. facilitados y los resultados de las pruebas, son incluidos en un fichero con acceso exclusivo por parte del personal investigador que participa en el estudio, pertenecientes todos ellos a la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALENCIA ‘SAN VICENTE MÁRTIR’ e inscritos en el fichero “ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN” con código de inscripción en la Agencia Española de Protección de datos. La información de carácter personal no será cedida o comunicada a terceros, ni utilizada para algún fin distinto al científico.

Consentimiento

Al firmar la hoja de consentimiento adjunta, autoriza a su hijo para participar en el estudio: “Rango de movimiento activo en la flexión de cadera y la prevalencia de lesiones en isquiosurales en futbolistas jóvenes”. declaro que he leído y comprendido la Hoja de Información. Además, he recibido suficiente información. Y, comprendo que la participación es voluntaria y mi consentimiento se puede retirar en cualquier momento.

Yo, D. _____, autorizo a mi hijo _____ de ___ años a participar en el estudio,

Anexo 6. Protocolo de la sesión de medición

PROTOCOLO SESIÓN DE MEDICIÓN

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia

Los miembros del equipo de investigación acudirán a la clínica de fisioterapia del club o en su defecto a la sala habilitada, **30 minutos antes** para preparar el material. Los participantes llegarán con su equipo a la hora asignada e irán pasando por orden de lista (1^{er} apellido) para ser medidos (1 minuto por jugador / 20-30 minutos / equipo).

MATERIAL NECESARIO PARA PODER REALIZAR LA MEDICIÓN:

- Hoja de consentimiento y asentamiento informado
- Listado y datos de participantes (por equipos): nombre y apellidos / fecha de nacimiento / demarcación habitual / categoría de edad / número de sesiones de entrenamiento / lateralidad.
- Todo en Archivado con fundas de plástico
- Cámara de video (con varias tarjetas memoria vacías) y trípode
- Camilla (en el caso que el club no disponga)
- Bolígrafos

1. PREPARACIÓN DEL MATERIAL

- 1.1. Colocar la camilla **con marcador de posición de cadera en una zona / distancia que permita el encuadre en los términos que se exponen abajo y si es posible usando un fondo claro**
- 1.2. Preparar la video cámara en paralelo al plano sagital del movimiento a una distancia de aproximadamente 3 metros y el objetivo de la cámara y la superficie de la camilla ajustados a la misma distancia del suelo, de modo que el encuadre abarque perfectamente de extremo a extremo de la camilla y los segmentos implicados en la grabación (desde zona lumbar- sacroiliaca a punta del pie).
- 1.3. Listado de participantes por equipo.

2. LLEGADA PARTICIPANTES: En el caso que no se haya podido recoger anteriormente, se les pide el **consentimiento y asentamiento informado debidamente cumplimentado y firmado.**

3. TEST (ACTIVE STRAIGHT LEG RAISE (ASLR))

- 3.1. Marcar en camilla con una señal claramente visible altura de colocación de la cadera para que siempre se filme desde la misma posición (centro de encuadre).
- 3.2. Indicar posicionamiento de la cámara y encuadre (de extremo a extremo de camilla y que en todo caso incluya tobillo de participante cuando se eleve la pierna).
- 3.3. Se inicia filmación continua de video, indicando el experimentador el nombre del club, equipo (categoría de edad) y letra del equipo que se va a filmar.
- 3.4. Se coloca al participante sobre la camilla en decúbito supino, con piernas en extensión, ambas manos sobre el pecho y región inferior de la espalda bien apoyada en la camilla (cadera en posición neutra).
- 3.5. Se le dice: **“Indica tu nombre y 2 apellidos en voz alta”.**
- 3.6. El experimentador, mediante palpación, localiza el trocánter mayor. Una vez localizado, el examinador coloca y mantiene su dedo índice sobre dicho punto anatómico durante 3 segundos. Tras la localización del trocánter, el examinador coloca una mano sobre el muslo de la pierna contraria a la evaluada mientras que la otra mano se sitúa debajo de la columna lumbar. Y desde la posición mencionada, mientras el sacro permanece apoyado en la camilla, se le dice **“Vamos a elevar la pierna derecha totalmente** (el examinador controla la velocidad de subida indicando tres tiempos (tres segundos)) lo más alto posible

con la rodilla en extensión y el pie en posición neutra, hasta que debido a la tirantez de la musculatura *extendida todo lo que puedas a la velocidad que te marco* ". El jugador de forma activa levanta la pierna (el examinador controla la velocidad de subida indicando tres tiempos (tres segundos)) lo más alto posible con la rodilla en extensión y el pie en posición neutra, hasta que debido a la tirantez de la musculatura isquiosural no puede más, flexiona la rodilla o bien comienza a bascular la pelvis en retroversión. Y desde esta máxima flexión de cadera el participante mantiene esta posición final durante 3-4 segundos. Se realizan **2 repeticiones** (el orden en el que se mide cada pierna es contrabalanceado entre participantes).

- 3.7. Se le pide al jugador que se gire en la camilla hacia el otro lado y se repite el procedimiento con la otra pierna.

AL FINALIZAR LAS MEDICIONES, SE DESCARGA LA TARJETA DE MEMORIA EN EL PC, SE COPIA EN UN PEN Y SE SUBE A DROPBOX

Range of Motion and Injury Occurrence in Elite Spanish Soccer Academies. Not Only a Hamstring Shortening—Related Problem

Alejandro Sanz,¹ Carlos Pablos,² Rafael Ballester,² Jose Vicente Sánchez-Alarcos,² and Florentino Huertas²

¹The Doctoral School, Catholic University of Valencia “San Vicente Mártir” (UCV), Valencia, Spain; and ²Departament of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, Catholic University of Valencia “San Vicente Mártir” (UCV), Torrent, Spain

Abstract

Sanz, A, Pablos, C, Ballester, R, Sanchez-Alarcos, JV, and Huertas, F. Range of motion and injury occurrence in elite Spanish soccer academies. Not only a hamstring shortening—related problem. *J Strength Cond Res* 34(7): 1924–1932, 2020—Age-related development of range of motion (ROM) during an active hip flexion (active straight leg raise) and its relationship with hamstring injury occurrence were examined in 1657 young male soccer players (9–18 years of age). Age-related differences in ROM showed a significant decrease from U9 to U11 ($p = 0.001$), from U11 to U13 ($p < 0.005$), and from U9 to U13 ($p < 0.001$), whereas ROM increased from U13 to U15 and from U13 to U18 (both p 's < 0.001). Interestingly, younger and older players reached similar ROM values (U9–U18, $p = 0.87$). Higher ROM was found in dominant than nondominant leg in all age groups (all p s < 0.001). No differences related to playing position were found on ROM (all p s > 0.478). During the follow-up period (11 months) 97 hamstring injuries were reported showing higher rates in the older age groups ($p < 0.001$) and outfield players ($p < 0.001$). Remarkably, no differences in ROM average were found between injured players and noninjured players ($p = 0.152$). Our results suggest that ROM during hip flexion does not only depend on the hamstrings shortening but also on the variables related to joint stability, motor control, and hip flexor muscle weakness. Sport scientists in youth sport soccer academies should develop age-specific screening and action plans to develop strength, motor control, and flexibility to optimize ROM and reduce injuries from the grassroots stages.

Key Words: extensibility, flexibility, adolescence

Introduction

The development of physical fitness (strength, endurance, speed, and flexibility) in young soccer players has been extensively studied (28). The methodology of fitness training should be adapted to players' developmental stage and their playing position (24,29). This issue is especially relevant in top-club soccer academies where training process optimization is a key factor for obtaining the highest performance and reduce injuries. Among the physical abilities required in soccer, the necessary range of motion (ROM) of the lower limb joints is very relevant, as it has been associated with the performance of some specific soccer skills (17) and the prevention of lower-body muscle injuries (6), particularly in the hamstrings muscles (49).

According to a Union of European Football Associations (UEFA) report (13), hamstring injuries accounted for 70% of injuries in the lower body and 12% of the total rate, standing out as the most common muscle injury in soccer with a high percentage of relapse (50). Despite of data from many studies having supported the effectiveness of diverse injury prevention programs, the incidence of hamstring injuries has increased annually by 4% since 2001 in professional male soccer players (14), with an augmented risk of injury as the age of the player increases (21).

Hamstring injuries are less prevalent in young soccer players than adults. However, probably due to early specialization

(greater demand of competitiveness and an increase in the volume and intensity of training), an increased risk of injuries in the lower extremities (5), especially in the hamstring, has been shown in grassroots football, with peaks at the age of 15 and 17 years (47).

The skeletally immature athlete is involved in a process of epiphysis construction, ossification, and development of support structures (15). At this stage of growth and development, a vigorous eccentric contraction at the myotendinous junction of the hamstrings (very common in sports involving high-speed sprinting and changes of direction) could provoke a hamstring injury and even a traumatic avulsion of the ischial apophysis (18).

Raya et al. (40) showed during one season that hamstrings were the muscle group with the most injury incidence, with higher prevalence in older than in younger players. Similarly, an epidemiological study of thigh muscle injuries in young soccer players (8) observed that although the frequency of hamstring injuries was not related to age, the severity of the injuries was greater as the players grew. In the same line, Valle et al. (47) analyzed hamstring injuries in 1,157 young athletes (6–18 y.o.) belonging to different team sports. In this study, it was observed that hamstrings represented the muscle group with the highest injury incidence (close to quadriceps), specially the semitendinosus and the semimembranosus muscles.

In soccer players, hamstring flexibility is often measured to determine the risk of incurring a hamstring injury (12,42,49). Different studies have shown that poor values of ROM and muscular tightness are 2 of the main intrinsic factors associated with hamstring injury risk (21,49). However, other studies have

Address correspondence to Florentino Huertas, florentino.huertas@ucv.es.

Journal of Strength and Conditioning Research 34(7):1924–1932

© 2019 National Strength and Conditioning Association

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™ | www.nscs.com

found no relationship between hamstring flexibility and injury incidence neither in adults (12) nor in youth soccer players (42).

Part of the controversy found between the results of different studies could be explained by factors related to the internal and external validity of diverse flexibility testing methods. Therefore, further research using more functional protocols to measure active ROM is needed, not only in the adult population (49) but also for youth athletes during their earlier developmental stages.

Most of the studies on this topic have found higher values of hamstring flexibility in older subjects (35), but they have been conducted using the “sit and reach test.” This test has been criticized for being highly influenced by anthropometric factors and for lacking specificity in differentiating the extensibility of the lumbo-pelvic musculature (34). By contrast, Rolls and George (42) showed a reduction in hamstring extensibility by age using the AKE (active knee extension) test, the SKE (sitting AKE) test, the PSLR (passive straight leg raise) test, and the PKE (passive knee extension) test. Nonetheless, other studies have used a more functional soccer-specific test, the “active straight leg raise test” (ASLR) (27,30). Results have shown that the older the age of the athlete, the higher degrees of active flexion ROM. However, these studies were conducted using a reduced sample size which therefore limited the interpretation and generalization of the findings. Therefore, scientific evidence has shown controversial findings about the relationship between the extensibility and growth, suggesting the need of adding more pieces of evidence with larger samples of subjects and more functional tests.

Considering that ASLR actions are typical in many functional and athletic situations, we consider that the ASLR test could be one of the most appropriate assessment procedures for measuring active ROM. The result of this test does not only depend on hamstring extensibility and eccentric antagonist action but also on hip flexor and knee extensor muscles (strength agonist action) (33). An adequate and coordinated activation pattern of these neuromuscular factors make possible to reach an active ROM. Therefore, the ASLR test seems to be a useful tool to study the presence of alterations in movement patterns that could cause injuries in the hamstrings muscles.

Through this study, we aim to provide evidence regarding differences in hip flexion ROM in different age groups (8–18 y. o.), while taking the playing position and the dominant lower limb laterality into research consideration. Moreover, differences in hip flexion ROM between injured and noninjured players will be analyzed.

Methods

Experimental Approach to the Problem

The present prospective study used a cross-sectional design to compare the hip flexion ROM of young soccer players, at different age categories, according to their playing position and

lower limb dominance. Moreover, we have conducted a detailed descriptive and comparative analysis of hamstring injuries during the entire regular season, considering variables such as age, playing position, and injury type. Finally, we compared hip flexion ROM differences between players suffering hamstring muscle injuries and players without hamstring muscle injuries.

Subjects

One thousand six hundred fifty-seven young male soccer players (mean \pm SD; age: mean 12.58 ± 2.65 years, range from 7.88 to 18.79 years) from 122 teams belonging to the football academies of the 5 best soccer clubs in the Valencia region (Spain) were divided up and classified according to their age category (U9, U11, U13, U15, and U18, Table 1). A self-report was used to confirm that all subjects were free from any injury in the lower extremities for at least 2 months before the testing period. The collected data were reviewed and confirmed by the coach and medical staff of each team. Participation in the study was voluntary, but due that the most of subjects were under the age of 18, all subjects and their parents or legal guardians were properly informed of the risks and benefits of the study before any data collection and signed an institutionally approved informed consent document. The study's procedures were approved by the Ethics Committee of the Catholic University of Valencia (2017-2018-08) and in accordance with the Declaration of Helsinki.

Procedures

Maximum active ROM during hip flexion was measured for the dominant and nondominant leg at the beginning of the regular competitive season (October–November). Age, limb dominance (defined as the predominant foot used for kicking a ball in a penalty kick), and playing position were registered in a team document completed by the head coach of each participating team. During the regular competitive season (October–June), data pertaining to hamstring injuries were registered prospectively by the coach, physiotherapist, or medical physician of each corresponding team/club.

Hip Flexion Range of Motion Assessment: Active Straight Leg Raise Test. One of the main purposes of the ASLR test is to measure hamstring tightness (34) and active hip mobility while simultaneously looking at core stability and motor control of the trunk while maintaining a stable pelvis (23). Testing was performed in the first training session of the microcycle, located at least 48 hours later than previous training session or competition match. All subjects were cited 30 minutes before the training session and were assessed in the medical area of their club's training facilities between 5:00 and 8:00 PM under similar temperature conditions, ranging from 16 to 23° C. Following the

Table 1
Distribution of the sample of subjects by the age group and playing position.

Age	Teams (n = 122)	GK (n = 166)	DEF (n = 584)	MID (n = 356)	FOR (n = 551)
U9 (n = 334)	29	37	130	63	104
U11 (n = 384)	34	47	132	73	132
U13 (n = 408)	26	29	143	96	140
U15 (n = 342)	20	31	114	82	115
U18 (n = 189)	13	22	65	42	60

DEF = defenders; FOR = forwards; GK = goalkeepers; MID = midfielders.

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™

recommendations established by Muyor and Arrabal (33) and to avoid any fatigue effect, warm-up was not performed before the testing. The subject lied down in a supine position on the physiotherapy table with both lower extremities extended, with both hands placed on the chest. The location of virtual markers to determine the hip joint angle during data analyses was done by the examiner's palpation of the subject's greater trochanter. After the location, the examiner placed the index finger over this anatomical point for 3 seconds while the subject executed a slow hip flexion movement. This procedure was repeated previously to the ASLR test in both right and left legs. After that, from this position, the examiner (located on the opposite side to the camera) fixed the leg not involved with one hand and placed the other hand under the lumbar spine to detect the posterior pelvic tilt (retroversion) (34). Then, the subject was asked to actively and slowly flex the contralateral hip with the leg totally extended for approximately 3 seconds with the ankle in a relaxed position to minimize the influence of the gastrocnemius muscles (3), while the opposite knee remained extended (Figure 1). The final position was determined when the athlete reported tension in the hamstring and was unable to continue the lift or at the moment the examiner felt that the pelvis started to tilt posteriorly (palpable onset). The subjects were encouraged to hold this static maximum ROM position during 3 seconds. Two ASLR tests were performed for each leg, with 10 seconds of resting intervals between them. The procedure was simultaneously recorded with a stationary (tripod set) high-speed digital video camera (Sony HXRNX5U NXCAM; Sony, Corp., Minato, Tokyo, Japan) at 240 fps (4). The camera was located in parallel to the sagittal plane at a distance of approximately 3 meters from the edge of the examination table, in a position that allowed the hip and ankle joints to be centered in the filming scene. The camera lens and table surface were adjusted to have the same distance from the floor. The focal length of the lens was adjusted so that the hip joint, the thigh, and ankle of the raised leg could be viewed to coincide with a previously published procedure (31).

Measuring Range of Motion Using the Kinovea Method. The camera recordings were subsequently analyzed using open-license video analysis software (Kinovea 0.8.15 for Windows), and the procedure was conducted in accordance with a previously published *modus operandi* (31). Following the criteria indicated by Grigg et al. (19), we determined the ROM using virtual markers located on the greater trochanter of the femur (axis of rotation) and on the peroneal malleolus (see procedure described in the previous section). One arm of the angle was aligned from the axis of rotation to the peroneal malleolus, and the other one was aligned parallel to the table surface (Figure 1). Because the objective was to detect the greatest angle of hip flexion (sustained static position) to facilitate the treatment of the images and the calculation of the angles, we used Kinovea to reduce the frequency of the video sample rate from the originally 240 to 60 fps (each frame is about 16 ms). Afterward, a full-leg and hip angle raise was visually determined, frame by frame, until the greatest distance was achieved and maintained, for at least 10 frames (160 ms). At that point, the frame was frozen, and the angle tool was used to determine ROM.

The highest value obtained from the 2 tests in each limb was annotated to statistical analysis. Six observers were trained for 2 weeks (two 2-hour sessions per week) to determine precisely the

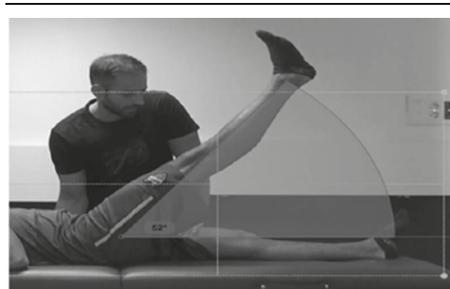


Figure 1. Experimental procedures for measuring the range of motion during the ASLR test. Range of motion was calculated using Kinovea software. ASLR = active straight leg raise.

anatomical reference point and markerless movement analysis using Kinovea software. The intraclass correlation coefficients (ICCs) were calculated for interrater reliability (44), showing very high values (ICC = 0.994; 95% confidence interval [CI] = 0.991–0.999). Absolute differences between the 6 observers ranged from 0.65 to 4.7° (\bar{X} = 2°).

Assessment of Hamstring Injuries During the Season. According to Ekstrand et al. (14), a recordable hamstring injury was defined as a traumatic distraction or overuse injury to the hamstring muscle group (the musculotendinous complex of biceps femoris, semitendinosus, and semimembranosus), including both first-time and recurrent injuries. Each injury/discomfort in the players' hamstrings was diagnosed and validated through clinical judgment by the club's medical staff according to the consensus statement established by Fuller et al. (16), this being, "Any physical complaint sustained by a player affecting the posterior side of the leg that results from a match or training session, irrespective of the need for medical attention or time lost from sports activities." All injury characteristics were initially registered by team coaches in detail on an annotation form designed for this study. This survey was designed considering previous recommendations established by Askling et al. (2) and adding some items according to the suggestions obtained from different coaches, physiotherapists, or doctors from the clubs participating in the study. Finally, the survey also included data gathering about the nature of the hamstring injury (muscle overload, muscle contracture, muscle strain, or muscle rupture), along with the player position (goalkeeper, defender, midfielder, or forward) and age group. Player injuries were prospectively collected from October 2016 to the end of June 2017, inclusive.

Statistical Analyses

The Kolmogorov-Smirnov test was used for each variable showing that data were normally distributed. Dependent 2-sample *t*-tests were used to analyze ROM differences between the dominant leg and nondominant leg. Differences in hip flexion ROM by age groups and the by playing position were assessed using 1-way analysis of variances (ANOVAs). One-sample chi-square tests (χ^2) were used to investigate differences in hamstring injury distribution by age, playing position, and nature of injury. Independent 2-sample *t*-test analysis compared the hip flexion ROM in players who were injured against those who were not injured. To be able to achieve this, considering the size of the

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™ | www.nscs.com

sample and the low number of players injured, a stratified random sampling with proportional affixation at the U15 and U18 groups (with the highest incidence of injury) was used.

Effect sizes were computed using Cohens's *d* for *t*-test analysis, Cramer's *V* for chi-square test, and partial eta-squared (η^2) for 1-way ANOVAs. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$. Significant main effects were further analyzed by multiple independent- or paired-sample *t*-tests (depending on the analysis) and corrected by using the post hoc Bonferroni test for multiple comparisons, i.e., 0.05 divided by the number of comparisons. Results were reported as mean \pm SD and 95% CI. All statistical analyses were analyzed using Statistica for Windows (version 8; StatSoft, Inc, Tulsa, OK).

Results

Active Straight Leg Raise Test Range of Motion

Descriptive values of ROM during hip flexion by age, playing position, and lower-limb dominance using the ASLR test are presented in Table 2. Dependent 2-sample *T*-test showed higher ROM values at the dominant (56.23 ± 8.60 , 95% CI = $56.64\text{--}55.81$) than nondominant leg (54.90 ± 8.61 , 95% CI = $55.31\text{--}54.48$) in all ages ($t(1,656) = 11.32$, $p < 0.001$, $d = 0.27$).

Analysis of variance revealed significant differences by the age group in ROM considering both legs ($F(4, 1,652) = 12.152$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.029$) and contemplating dominant ($F(4, 1,652) = 11.643$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.029$) and nondominant ($F(4, 1,652) = 10.806$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.029$) independently. The independent *t*-test showed ROM decreasing from U9 to U13 ages (from U9 to U11, -1.89° ($t(716) = 3.23$, $p < 0.005$, $d = 0.23$), from U9 to U13, -3.66° ($t(740) = 6.45$, $p < 0.001$, $d = 0.45$), and from U11 to U13, -1.77° ($t(790) = 3.11$, $p < 0.005$, $d = 0.22$)). However, remarkably, this trend stopped starting right after the onset of the U13 ages, observing improvements in hip flexion ROM from U13 to U18 (from U13 to U15, $+2.45^\circ$ ($t(748) = 4.11$, $p < 0.001$, $d = 0.30$), from U13 to U18, $+3.78^\circ$ ($t(595) = 5.09$, $p < 0.001$, $d = 0.46$), and from U15 to U18, $+1.32^\circ$, but not significant ($t(529) = 1.66$, $p = 0.096$)). Interestingly, there were no significant differences in ROM between the younger and older players (U9–U18, 0° ($t(521) = 0.15$, $p = 0.87$); U9–U15, 1.21° ($t(674) = 1.99$, $p = 0.04$); U11–U18, 2° ($t(571) = 2.62$, $p = 0.009$); or U11–U15, 0.56° ($t(724) = 1.10$, $p = 0.27$) (Figure 2).

No differences related to playing positions were found in ROM (considering both legs and contemplating their dominant and nondominant [all p 's > 0.478]).

Hamstring Injuries' Occurrence

During the study period, 97 hamstring injuries were documented. Eight players reported 2 injuries, and 81 players reported 1 injury. Table 3 shows the distribution of hamstring injuries across the age group, playing position, and nature of injury. One-sample chi-square analyses showed that the age group modulated the prevalence of injuries ($\chi^2(4) = 31.71$, $p < 0.001$, $V = 0.28$), revealing that 66% of injuries were observed in older ages (U15 = 33% and U18 = 33%), although these age groups represented only 32% of the total sample of the study. The remaining 34% of injuries occurred in ages younger than 13 years of age (U9 = 4%, U11 = 12% and U13 = 18%),

Table 2 Subject's ROM in ASLR test by the age group, leg dominance, and playing position (Mean \pm SD).*

Age	ASLR D (°)					ASLR ND (°)					Mean (°)
	All	GK	DEF	MID	FOR	All	GK	DEF	MID	FOR	
U9	57.85 \pm 8.03†	56.78 \pm 9.10	57.78 \pm 7.40	58.03 \pm 7.56	58.21 \pm 8.71	56.43 \pm 7.88†	56.08 \pm 8.12	56.23 \pm 6.87	57.07 \pm 7.79	56.43 \pm 9.04	57.14 \pm 8.19
U11	56.01 \pm 8.40†	56.36 \pm 9.65	55.58 \pm 8	56.12 \pm 8.64	56.27 \pm 8.27	54.49 \pm 8.44†	55.06 \pm 8.23	54.23 \pm 8.67	55.04 \pm 8.61	54.24 \pm 8.26	55.25 \pm 8.26
U13	54.05 \pm 8.14†	54.13 \pm 9.36	52.88 \pm 8	53.25 \pm 7.95	55.77 \pm 7.93	52.90 \pm 8.33†	53.89 \pm 8.95	51.74 \pm 8.01	51.98 \pm 8.59	54.53 \pm 8.14	53.47 \pm 8.24
U15	56.60 \pm 8.75†	56.58 \pm 8.67	57.44 \pm 9.03	56.60 \pm 7.99	55.78 \pm 9.05	55.25 \pm 8.64†	55.74 \pm 9.23	56.27 \pm 9.36	55.32 \pm 7.59	54.06 \pm 8.40	55.93 \pm 8.27
U18	57.82 \pm 9.67†	59.5 \pm 9.19	58.23 \pm 8.76	56.97 \pm 8.66	57.31 \pm 11.43	56.69 \pm 9.78†	59.63 \pm 8.02	57.41 \pm 8.98	54.37 \pm 8.83	56.35 \pm 11.5	57.25 \pm 8.25
Total	56.23 \pm 8.60†	56.52 \pm 9.25	56.08 \pm 8.39	55.89 \pm 8.26	56.52 \pm 8.85	54.90 \pm 8.61†	55.81 \pm 8.56	54.83 \pm 8.53	54.55 \pm 8.41	54.92 \pm 8.83	55.57 \pm 8.27

*ASLR D = active straight leg rise dominant; ASLR ND = active straight leg rise nondominant; DEF = defenders; FOR = forwards; GK = goalkeepers; MID = midfielders; ROM = range of motion.

†Significant ($p < 0.001$) differences between the dominant and nondominant leg in each age group.

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

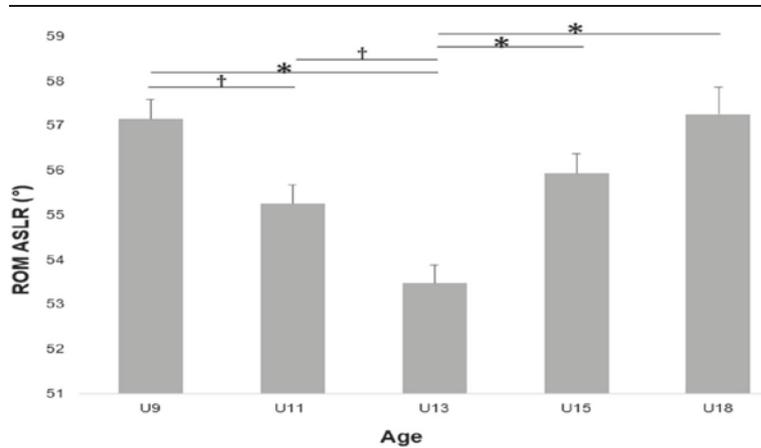


Figure 2. Mean ROM values in ASLR (obtained from dominant and nondominant leg) by the age group. Error bars represent SE. *Significant ($p < 0.001$), †significant ($p < 0.005$). ASLR = active straight leg raise; ROM = range of motion.

which represented 68% of the total sample of the study. The multiple comparison of frequency injuries among age groups was significant between the younger and older players (U9–U13 ($\chi^2(1) = 8.09, p < 0.005, V = 0.62$); U9–U15 ($\chi^2(1) = 21.77, p < 0.001, V = 0.77$); U9–U18 ($\chi^2(1) = 21.77, p < 0.001, V = 0.77$); U11–U15 ($\chi^2(1) = 9, p < 0.005, V = 0.45$); U11–U18 ($\chi^2(1) = 9, p < 0.005, V = 0.45$)).

On the other hand, chi-square analyses revealed that the observed frequency of injuries varied according to the playing position ($\chi^2(3) = 33.94, p < 0.001, V = 0.33$), showing that goalkeepers suffered significantly fewer hamstring injuries (2%) than outfield players (43% defender ($\chi^2(1) = 36.36, p < 0.001, V = 0.52$), 26% midfielder ($\chi^2(1) = 19.59, p < 0.001, V = 0.85$), and 29% forward ($\chi^2(1) = 22.53, p < 0.001, V = 0.5$). Regarding the distribution of injuries among outfield players, there was no significant difference between the observed and expected frequency ($\chi^2(2) = 5.20, p = 0.07$). Defender—forward ($\chi^2(1) = 2.80, p = 0.09$), defender—midfielder ($\chi^2(1) = 4.31, p = 0.03$), and midfielder—forward ($\chi^2(1) = 0.16, p = 0.68$). Concerning the nature of injury, our results revealed a differential distribution of the injuries ($\chi^2(3) = 29.10, p < 0.001; V = 0.32$), showing that the most recurrent injury was overload (48%), followed by strain (25%), contracture, and muscle rupture (both 15%).

Table 3
Distribution of hamstring injuries by age, playing position, and nature of injury.*

Age	Playing position			Nature of injury				
	GK	DEF	MID	FOR	OVER	CON	STR	RUP
U9 (4)	4%	0	2	2	0	3	1	0
U11 (12)	12%	0	6	1	5	5	1	4
U13 (17)	18%	0	5	10	2	9	2	3
U15 (32)	33%	2	12	6	12	12	6	9
U18 (32)	33%	0	17	6	9	18	5	4
Total (n = 97)		2	42	25	28	47	15	20
		2%	43%	26%	29%	48%	15%	21%

*CON = muscle contracture; DEF = defenders; FOR = forwards; GK = goalkeepers; MID = midfielders; OVER = muscle overload; RUP = muscle rupture; STR = muscle strain.

Range of Motion Differences Between Injured and Noninjured Players

To compare hip flexion ROM in players who were injured against those who were not injured, ROM from 57 injured players of the age groups with the highest incidence of injury (U15, $n = 342, 30$ injured, and U18, $n = 189, 27$ injured) were compared with the hip flexion ROM obtained from a random and stratified sample ($n = 57$) obtained from the noninjured players of these same age groups (U15, $n = 22$ and U18, $n = 35$). T-test analyses showed no statistically significant differences between groups in the mean ROM value, obtained from both legs ($t(112) = 1.44, p = 0.152$), or any statistically significant differences from each ROM value pertaining to the dominant leg ($t(112) = 1.43, p = 0.153$) and the nondominant ($t(112) = 1.37, p = 0.17$) (Table 4).

Discussion

To date, very scarce data have been collected concerning the evolution of the ROM throughout all the stages of the soccer training process. Some previous studies were conducted on age groups from 11 to 14 years of age (27,30), these having used small sample sizes which limited the interpretation and generalization of the findings. Along the same line, some previous studies also used questionable data collecting methods, such as the sit and reach test (35), which have also been questioned and criticized from a methodological point of view.

The results of this study conducted on 5 elite soccer academies have shown that age development modulates the ROM during hip flexion, in both the dominant and nondominant leg. Notably,

Table 4
Subject's ROM in ASLR by injury occurrence and leg dominance (mean \pm SD).*

Leg	Injured (n = 57)	Noninjured (n = 57)
DL	60.1 \pm 10.29	57.0 \pm 12.15
NDL	59.1 \pm 9.21	56.3 \pm 11.98
MEAN	59.6 \pm 9.49	56.7 \pm 11.83

*ROM = range of motion; ASLR = active straight leg raise; DL = dominant leg; NDL = nondominant leg.

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™ | www.nscs.com

our results reported a change of trend in the U13 age group, showing a significant decrease in ROM from this 9- to 13-year-old age group (-3.66°). At this stage (U13), the trend is reversed, and the ROM starts to increase ($+3.78^\circ$ from U13 to U18).

Our findings could be explained by the evolutionary development of the different physical abilities of the young athlete, taking into consideration that the maximum growth peak for strength is experienced around 12–13 years of age (36). In this sense, Lloyd et al. (27) using the Functional Movement Screen test (FMS) determined that the post-peak height velocity groups (U16 and U18) were the ones that achieved the best scores in the different FMS tests. In the same vein, Marques et al. (30) reported the lowest ROM values for their youngest age group, in this case U15, compared to U16 and U18. These findings are in line with those observed in our study from the age ranges of U13 to U18. By contrast, Rolls and George (42) observed a decrease in hamstring flexibility in the oldest group of a reduced sample of players 9–19 years old ($n = 93$) using the AKE test, SKE test, PSLR test, and PKE test. The divergence with our findings could be accounted by factors related to the variability of the results due to a small sample size. It is important to note that these controversial results could be explained by the type of tests used and the muscles involved in the actions that determined the ROM, taking into consideration the active or passive engagement to achieve the maximum ROM and strength and motor control requirements of the ASLR test (22).

Considering hamstring extensibility as one of the modulating factors of ROM, similar results to those observed in our study have been described with players 10–22 years old, showing lower ROM values in players from the U12 age group than those players from younger and older groups (35). However, when comparing these results with ours, we must highlight that the test used in the aforementioned study was the Sit & Reach test. According to Muyor et al. (34), the values observed in this test are affected by the multisegmental mobility of the spine and pelvis. Furthermore, the authors recommended the ASLR test (used in our study) as an appropriate test for the assessment of hamstring flexibility in school-aged children.

It is important to note here that the ASLR test is more than a simple hamstring test. It is clear that the extensibility of the hamstring on the lifting will affect the ASLR test outcome, and also, the demands of certain levels of strength and activation on the flexor (psoas, anterior iliac, rectus femoris, and adductor longus) and stabilizer (gluteus medius, erector spinae, and abdominal muscles) hip musculature will be determinant. Thus, our pattern of results could be explained by the fact that the older groups (U15 and U18) are in a moment of special development of the strength capacity (the postpeak height velocity period) (27). This fact allows older players to achieve a greater activation of the agonist, subsequently increasing the ability to raise the thigh higher.

Other factors that may contribute to the interpretation of our results would be those related to motor control and intermuscular coordination between the agonist, antagonist, synergist, and fixator muscles of hip flexion with knee extension and maintaining the isometric position during the time required in the ASLR (23). Although the measurements were being taken, we observed the players' difficulties, especially in the younger age groups, in performing the straight leg raising movement and keeping the leg stable within the sagittal plane. Compensations with rotation (internal and external) and with

hip abduction and adduction were observed. Although it would be interesting to perform further studies aiming to better know how the variables linked to control-stabilization of movement modulate the strength and ROM level at these ages, we consider that in the early stages of development (U13 and younger), the young athlete has not yet reached adequate proprioceptive capacities to maintain functional stability of the joint, unlike the older groups (U15 and U18), which due to a maturational development of stability and gained strength, would have already improved this capacity (30).

Regarding the observed asymmetries between the dominant and nondominant leg on ROM values (range from 0 to 27° , with an average of 1.33° and mean *SD* of 4.78°), our results are in line with those observed in previous studies using the ASLR test, such as Henderson et al. (21) ($+3^\circ$ in the dominant leg). These asymmetries could be associated with factors related to the greater frequency of repetition of the technical pass and striking movements by the dominant leg (10), which would imply greater development of strength at the hip flexors and knee extensors, united with the eccentric action of the hamstring musculature, whereas the nondominant leg has the main role of providing postural support.

In relation to this, it should be noted that the average error of interobserver measurement was 2° , similar magnitude to the difference between the ROM of the dominant leg vs. not dominant (Table 2). It should be noted that the strict procedure followed in the training of the evaluators guarantees the high level of reliability of the measure, and that the error detected in our study is similar or less than in previous studies that used direct measurements using goniometry (gold standard), from 3 to 4° (39). In addition, this error of precision would affect equally in all subjects and experimental conditions, so we consider that it does not affect the validity and interpretation of the clinical relevance of the results obtained. Therefore, it is unlikely that these data are only attributable to the variability of the measurement and could represent clinically relevant differences, although in our study we cannot confirm it. In this way, the significant differences in ROM detected in our study can be related to increases in the risk of injury described in previous studies. Bradley and Portas (6) reported that players injured during the season showed lower values of ROM (about 3°) in flexor muscles of the knee than noninjured players. Similarly, Henderson et al. (21) observed that the active hip flexion ROM was higher on the dominant limb than the nondominant (3°). Results from this last study show that for every 1° decrease in the ASLR test, the odds of sustaining a hamstring injury increased $\times 1.29$.

We suggest that as it has been performed in our study, the investigations conducted in this area cite the errors of interobserver and intraobserver measurement to be able to interpret the level of accuracy and clinical validity of the results obtained.

Finally, our results have shown an absence of significant ROM differences associated with specific player position. Conversely, in a study with 296 male subjects (from 10 to 13 years of age), Portes et al. (37) showed that there were higher flexibility values (sit and reach) in goalkeepers than in players from other positions. However, despite the limitations of the Sit & Reach test mentioned previously, these results are in line with those found in our U18 age group (a trend that did not reach significance, possibly due to the small number of players in this demarcation, 22 goalkeepers vs. 167 field players). These results could be determined by individualistic and specific training methods developed by goalkeepers, from an early age onwards, which require actions of great amplitude in different anatomical

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™

locations. On the other hand, Sporis et al. (45), through the ASLR test with the left leg, determined statistically significant differences between the midfielders and attackers (1.67°), giving relevance to this difference because the attackers perform a larger number of high-intensity sprints and perform more kicks than midfielders. In addition, they report a difference of +2° with the right leg in midfielders against the attackers and defenders. Authors attributed this difference to that the midfielders make the most changes of direction during a game.

During the study follow-up period, only 97 hamstring injuries were documented, showing a lower prevalence index than older professional soccer players (14,50). Regarding youth soccer, Raya et al. (40) recently described the incidence of muscle injuries over 1 complete regular season in a Spanish professional soccer academy, showing that hamstrings were the muscles with the highest incidence of injury at these earlier ages. Previously, Rolls and George (42) reported that 16 of 93 sample subjects (17%) experienced at least 1 hamstring muscle injury ($n = 20$ hamstring injuries) during 1 competitive season (10 months). The divergence with the lower injury rate observed in our study could be related to the fact that in our study, the preseason period was not included, being preseason a particular period with a higher prevalence of hamstring injuries (9). In addition, we must take into consideration that our study was conducted with a sample of subjects from the 5 best soccer academies in the region, which implies a higher qualified level required for all professionals (26) responsible for the design and supervision of the training process (Training Methodology Departments) as well as those professionals in charge of injury prevention and treatment (Health and Medical Departments).

Regarding the age distribution of injuries, our results showed that the older the age, the higher the incidence of hamstring injuries (U15 and U18 accumulated 66% of total injuries compared with only 16% in the U9 and U11 age groups). These results match with those observed by Rolls and George (42), showing the highest percentage of injuries in the U17–U19 ages and the lowest frequency in those younger than 9–10 years of age. Similarly, Raya et al. (40) recently replicated the observation of higher prevalence of injured hamstrings in older players (senior, U19, and U16) than in players at the younger stages. Our results are also supported by recent epidemiology studies determining age as a risk factor in children's soccer (43). The observed rising in frequency and severity of hamstring injuries with growth and maturation could be explained by endogenous factors such as the elastic, viscoelastic, and contractile properties of the tendinous and muscular tissues and structures (25). Other reasons may be due to the fact that at these older ages, players workout during longer training sessions (increased volume of soccer training) using higher workloads (5,41) and performing more running at very high speeds (20), which is the principal mechanism of harm in hamstring injuries (7). In addition, another very remarkable issue that could better support this pattern of results is the rise of premature sports specializations (38) and an insufficient or ineffective design of preventive programs to avoid injury at younger ages, which could cause problems to appear in higher categories (46).

Regarding the severity of the injuries, in the current study, muscle overload (48%) was by far the most commonly diagnosed injury, followed by strain (25%), contracture (15%), and muscle rupture (15%). Muscle rupture, considered the most serious injury in this study, occurred more frequently in

U15 and U18 ages groups. Our results point in the same direction as previous studies showing that the proportion of severe injuries in hamstrings increases with the age of the player (8,40). Indeed, recent studies reported the most severe injury rate is at the U15 age group, an age period with rapid growth (41), when volume and intensity of training are increased, in comparison with younger age groups (38).

Concerning the incidence of hamstring injuries relative to the player's position in the field, we observed that goalkeepers sustained fewer hamstring injuries than outfield players. These results match those described by Woods et al. (50) who attributed this fact to the different patterns of motor actions and skills executed by the goalkeepers. Our descriptive results show that defenders suffered the most injuries and midfielders the least; whereas, conversely, Dauty et al. (11) observed that there were higher injury rates from midfielders than defenders in adult players. This difference with respect to our results may be due to the younger age groups of our sample.

Finally, our study explored the differences between hip flexion ROM in injured players compared with that of non-injured players. No significant differences in ROM between groups were found. We suggest that at least in young soccer players belonging to top-level academies, ROM during hip flexion does not seem to be an independent and consistent mediator in hamstring muscle injuries. This lack of statistical differences in ROM between the injured and the noninjured groups supports the results observed by Rolls and George (42). However, in this study, a tendency of a shorter hamstring amplitude in AKE (5.5–9.1°, respectively) and SKE (9.9–11.3°, respectively) was observed in injured athletes compared with noninjured athletes. However, the reduced number of subjects, the test used, and the fact that all the players belonged to a single soccer club may limit the extrapolation and the comparison of these results.

The absence of difference in ROM between the injured and the noninjured groups could also be supported by Arnason et al.'s findings (1), showing that at least in elite soccer players, a hamstring flexibility training program had no effect on the incidence of hamstring strains during 1 season. By contrast, Witvrouw et al. (49) analyzed the hamstring flexibility of 146 professional players during the preseason reporting that players who had suffered some injury in this muscle showed significantly lower values of hamstring flexibility. These controversial data require further research in this line, more precisely controlling the characteristics of the sample, the evaluation techniques, the relevance of strength and flexibility training loads, as well as other variables that affect hamstring injuries (21).

To conclude, we suggest that although hip flexion ROM is not significantly related to the injury rate of the hamstring, this is not a sufficient reason for disregarding the development of the different components of joint mobility (flexibility of the hip extensor musculature, flexor muscle strength, and motor control of muscles involved in synergies and stabilization). The intermittent nature of the actions that occur during a soccer match (high-intensity short sprints, with sudden turning and increasing or decreasing of speed, etc.) may lead to excessive muscle tightness (12), which may be an intrinsic risk factor in the prevalence of muscle injuries (7).

An early sport specialization and an insufficient or ineffective injury prevention program design may lead to the appearance of these problems at younger ages and could

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™ | www.nscs.com

increase the incidence of medium- to long-term alterations in the rachis morphology (32).

Practical Applications

The present findings should encourage soccer coaches and sport scientists to implement, from the early stages onward, programs of preventive, compensatory, and neuromuscular awareness to develop optimal levels of motor control, strength, and extensibility. We suggest the inclusion of testing active hip flexion ROM of young soccer players, during pre-season, to identify players with a low or decompensated active ROM and to prescribe an appropriate and individualized training program. It would be advisable that strength and conditioning coaches include routines of strengthening exercises of the hip flexors to prevent them from weakening and tasks demanding active extensibility of the posterior musculature of the leg to avoid excessive stiffness, during the grassroots stage, especially at the prepeak height velocity period age. On the other hand, because there is a greater incidence of hamstring injuries in older groups, it would be convenient for S&C trainers to prioritize prevention tasks during training sessions. Eccentric hamstring muscle training exercises combined with stretching seems to be a good option for preventing hamstring injuries in adult soccer players (1). These initiatives could help reduce the magnitude of lost ROM later ages, contributing to the reduction of risk factors and improving the development of the physical and technical—tactical abilities of the soccer player.

Acknowledgments

The authors acknowledge the soccer players who participated in this study. The authors thank Valencia Club de Fútbol, Villarreal Club de Fútbol, Levante Unión Deportiva, San José CF, and Alboraya Unión Deportiva for their support and collaboration in this study. The authors thank Dr. Daniel Sanabria from the University of Granada for his help with statistical analyses. Authors have no professional relationship with the clubs, companies, or manufacturers who will benefit from the results of this present research study.

References

1. 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* 18: 40–48, 2008.
2. Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports* 13: 244–250, 2003.
3. Ayala F, Sainz de Baranda P, De Ste Croix M, Santonja F. Absolute reliability of five clinical tests for assessing hamstring flexibility in professional futsal players. *J Sci Med Sport* 15: 142–147, 2012.
4. Balsalobre-Fernández C, Tejero-González CM, del Campo-Vecino J, Bavaresco N. The concurrent validity and reliability of a low-cost, high-speed camera-based method for measuring the flight time of vertical jumps. *J Strength Cond Res* 28: 528–533, 2014.
5. Bowen L, Gross AS, Gimpel M, Li FX. Accumulated workloads and the acute: chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *Br J Sports Med* 51: 452–459, 2017.
6. Bradley PS, Portas MD. The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. *J Strength Cond Res* 21: 1155–1159, 2007.
7. Chumanov ES, Heiderscheid BC, Thelen DG. Hamstring musculotendon dynamics during stance and swing phases of high-speed running. *Med Sci Sports Exerc* 43: 525–532, 2011.
8. Cloke D, Moore O, Shah T, et al. High muscle injuries in youth soccer: Predictors of recovery. *Am J Sports Med* 40: 433–439, 2012.
9. Dalton SL, Kerr ZY, Dompier TP. Epidemiology of hamstring strains in 25 NCAA sports in the 2009–2010 to 2013–2014 academic years. *Am J Sports Med* 43: 2671–2679, 2015.
10. Daneshjoo A, Rahnama N, Mokhtar AH, Yusof A. Bilateral and unilateral asymmetries of isokinetic strength and flexibility in male young professional soccer players. *J Hum Kinet* 36: 45–53, 2013.
11. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferréol S, Dubois C. Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles Ligaments Tendons J* 6: 116–123, 2016.
12. Ekstrand J, Gillquist J. The frequency of muscle tightness and injuries in soccer players. *Am J Sports Med* 10: 75–78, 1982.
13. Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *Br J Sports Med* 45: 553–558, 2011.
14. Ekstrand J, Waldén M, Häggglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: A 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. *Br J Sports Med* 50: 731–737, 2016.
15. Frank JB, Jarit GJ, Bravman JT, Rosen JE. Lower extremity injuries in the skeletally immature athlete. *J Am Acad Orthop Surg* 15: 356–366, 2007.
16. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, et al. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Br J Sports Med* 40: 193–201, 2006.
17. García F, Ruiz A, Moreno R, Latorre PA. Impact of limited hamstring flexibility on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility in young football players. *J Sports Sci* 33: 1293–1297, 2015.
18. Gidwani S, Jagiello J, Bircher M. Avulsion fracture of the ischial tuberosity in adolescents—an easily missed diagnosis. *BMJ* 329: 99–100, 2004.
19. Grigg J, Haakonssen E, Rathbone E, Orr R, Keogh JW. The validity and intra-tester reliability of markerless motion capture to analyse kinematics of the BMX Supercross gate start. *Sports Biomech* 17: 383–401, 2018.
20. Harley JA, Barnes CA, Portas M, et al. Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *J Sports Sci* 28: 1391–1397, 2010.
21. Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *J Sci Med Sport* 13: 397–402, 2010.
22. Hu H, Meijer OG, van Dieën JH, et al. Is the psoas a hip flexor in the active straight leg raise? *Eur Spine J* 20: 759–765, 2011.
23. Hu H, Meijer OG, Hodges PW, et al. Understanding the active straight leg raise (ASLR): An electromyographic study in healthy subjects. *Man Ther* 17: 531–537, 2012.
24. Joo CH, Seo DI. Analysis of physical fitness and technical skills of youth soccer players according to playing position. *J Exerc Rehabil* 12: 548–552, 2016.
25. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *Int J Sports Med* 22: 138–143, 2001.
26. Lledó E, Huertas F. Profile of the football coach in first division club academies in the region of Valencia. *Apunts Educ Fis Deport* 108: 35–45, 2012.
27. Lloyd RS, Oliver JL, Radnor JM, et al. Relationships between functional movement screen scores, maturation and physical performance in young soccer players. *J Sports Sci* 33: 11–19, 2015.
28. Lovell TWJ, Bocking CJ, Fransen J, Kempton T, Coutts AJ. Factors affecting physical match activity and skill involvement in youth soccer. *Sci Med Football* 2: 58–65, 2018.
29. Marques MC, Izquierdo M, Gabbett TJ, et al. Physical fitness profile of competitive young soccer players: Determination of positional differences. *Int J Sports Sci Coach* 11: 693–701, 2016.
30. Marques VB, Medeiros TM, de Souza Stigger F, Nakamura FY, Baroni BM. The functional movement screen (FMS™) in elite young soccer players between 14 and 20 years: Composite score, individual-test scores and asymmetries. *Int J Sports Phys Ther* 12: 977–985, 2017.
31. Moral JA, Esteban B, Arroyo M, Cobo MJ, Herrera E. Agreement between face-to-face and free software video analysis for assessing hamstring flexibility in adolescents. *J Strength Cond Res* 29: 2661–2665, 2015.
32. Muñoz JM, Alacid F, Rodríguez PL, López PA. Influence of hamstring extensibility on sagittal spinal curvatures and pelvic inclination in athletes. *Int J Morphol* 30: 176–181, 2012.
33. Muñoz JM, Arrabal-Campos FM. Effects of acute fatigue of the hip flexor muscles on hamstring muscle extensibility. *J Hum Kinet* 53: 23–31, 2016.

Anexo 7 . Publicación tesis doctoral

Range of Motion and Injuries in Youth Soccer (2020) 34:7

The Journal of Strength and Conditioning Research™

34. Muyor JM, Zemková E, Štefániková G, Kotyra M. Concurrent validity of clinical tests for measuring hamstring flexibility in school age children. *Int J Sports Med* 35: 664–669, 2014.
35. Nikolaïdis P. Age-related differences of hamstring flexibility in male soccer players. *Balt J Health Phys Act* 4: 110–115, 2012.
36. Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 24: 221–230, 2006.
37. Portes LA, Canhadas IL, Silva RLP, Oliveira NC. Anthropometry and fitness of young elite soccer players by field position. *Sport Sci Health* 11: 321–328, 2015.
38. Post EG, Trigsted SM, Riekens JW, et al. The association of sport specialization and training volume with injury history in youth athletes. *Am J Sports Med* 45: 1405–1412, 2017.
39. Pua YH, Wrigley TV, Wrigley TW, Cowan SM, Bennell KL. Intrarater test-retest reliability of hip range of motion and hip muscle strength measurements in persons with hip osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 89: 1146–1154, 2008.
40. Raya J, Suarez L, Larruskain J, Sáez de Villarreal E. Muscle injuries in the academy of a Spanish professional football club: A one-year prospective study. *Apunts Med Esport* 53: 3–9, 2018.
41. Read PJ, Oliver JL, De Ste Croix MBA, Myer GD, Lloyd RS. An audit of injuries in six English professional soccer academies. *J Sports Sci* 36: 1542–1548, 2018.
42. Rolls A, George K. The relationship between hamstring muscle injuries and hamstring muscle length in young elite footballers. *Phys Ther Sport* 5: 179–187, 2004.
43. Rössler R, Junge A, Chomiak J, et al. Risk factors for football injuries in young players aged 7 to 12 years. *Scand J Med Sci Sports* 28: 1176–1182, 2018.
44. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychol Bull* 86: 420–428, 1979.
45. Sporis G, Vucetic V, Jovanovic M, Jukic I, Omrcen D. Reliability and factorial validity of flexibility tests for team sports. *J Strength Cond Res* 25: 1168–1176, 2011.
46. Tears C, Chesterton P, Wijnbergen M. The elite player performance plan: The impact of a new national youth development strategy on injury characteristics in a premier league football academy. *J Sports Sci* 36: 1–8, 2018.
47. Valle X, Malliaropoulos N, Párraga Botero JD, et al. Hamstring and other thigh injuries in children and young athletes. *Scand J Med Sci Sports* 28: 2630–2637, 2018.
48. van Doormaal MCM, van der Horst N, Backx FJG, Smits DW, Huisstede BMA. No relationship between hamstring flexibility and hamstring injuries in male amateur soccer players: A prospective study. *Am J Sports Med* 45: 121–126, 2017.
49. Witvrouw E, Danneels 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* 31: 41–46, 2003.
50. Woods C, Hawkins R, Maltby S, et al. The Football Association Medical Research Programme: An audit of injuries in professional football—analysis of hamstring injuries. *Br J Sports Med* 38: 36–41, 2004.